

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт. Энергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующая кафедрой

\_\_\_\_\_ И.М. Кирпичникова  
(подпись)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Аккумулятор для энергокомплекса на основе  
возобновляемых источников энергии

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Е.В. Соломин  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

Автор  
Студент группы П-478

\_\_\_\_\_ М.А. Шкред  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер  
старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Н.Ю. Аверина  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт. Энергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

Направление 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующая кафедрой

\_\_\_\_\_ И.М. Кирпичникова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

### ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента  
Шкред Марии Андреевны

(Фамилия, имя, отчество полностью)

Группа П-478

1 Тема работы Аккумулятор для энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии

утверждена приказом по университету от 25 апреля 2019 г. № 899

2 Срок сдачи студентом законченной работы 21.06.2019 г.

3 Исходные данные к работе

1. ГОСТ Р 54418.1-2012 (МЭК 61400-1:2005) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 1. Технические требования
2. ГОСТ Р 51991-2002. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования
3. ГОСТ Р 51237-98 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

#### 1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

1.1 Энергия потоков ветра

1.2 Классификация ветроэнергетических установок и их особенности



---

---

---

---

Всего \_\_\_ листов

6. Дата выдачи задания «10» февраля 2019 г.

Руководитель \_\_\_\_\_ Е. В. Соломин  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ М. А. Шкред  
(И.О. Фамилия)

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы (проекта)	Срок выполнения этапов работы (проекта)	Отметка о выполнении руководителя
Выбор темы	01.11.2018	
Разработка плана проведения работы	10.01.2019	
Изучение теории ВИЭ	01.02.2019 – 15.02.2019	
Изучение механических накопителей	01.03.2019 – 20.03.2019	
Проведение исследования рабочих характеристик супермаховика	01.04.2019 – 15.04.2019	
Расчет автономной системы электроснабжения	16.04.2019 – 30.04.2019	
Подбор элементов системы электроснабжения и аккумуляирования	01.05.2019 – 19.05.2019	
Расчет экономики накопителя	20.05.2019 – 30.05.2019	
Анализ экобезопасности установки	30.05.2019 – 02.06.2019	
Оценка актуальности применения данного накопителя	02.06.2019 – 09.06.2019	

Заведующая кафедрой

\_\_\_\_\_

(подпись)

И.М. Кирпичникова  
(И.О. Фамилия)

Руководитель работы

\_\_\_\_\_

(подпись)

Е.В. Соломин  
(И.О. Фамилия)

Студент

\_\_\_\_\_

(подпись)

М. А. Шкред  
(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Шкред М. А. Аккумулятор для энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии. – Челябинск, ЮУрГУ, ПЗ; 2019, 72 с, 21 ил., 11 табл., библиогр. список – 38 наим.

Работа посвящена проверке актуальности использования кинетического аккумулятора для регулирования работы ветроэнергетической установки, а также стабилизации параметров сети потребления.

В первой главе подробно описаны параметры и конструкции ветроэнергетических установок. Приведен мировой потенциал ветроэнергетики и ветроэнергетический потенциал Челябинской области, а также показатели, влияющие на экономическую эффективность ветровой энергетики.

Во второй главе обоснована необходимость накопления электроэнергии, поступающей от ВИЭ, и приведены основные аккумуляторы электроэнергии, применяемые в настоящее время. Также поставлены цель и задачи исследования актуальности использования ИНЭ для накопления и регулирования электроэнергии. Описана конструкция инерционного маховичного накопителя энергии и приведены основные параметры и методы применения ИНЭ.

В третьей главе осуществлён расчет потребления жилого дома.

В четвертой главе произведен подбор оборудования для системы автономного энергообеспечения жилого дома с помощью ВИЭ, проведен теоретический расчет маховичного накопителя электроэнергии.

В пятой главе дана экономическая и экологическая оценки эффективности применения супермаховика.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ								
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата									
Разраб.	Шкред				Аккумулятор для энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии			Лит.		Лист	Листов		
Пров.	Соломин							В	К	Р	3	72	
Н. контр.								ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «ЭССиСЭ»					
Утв.	Кирпичниова												

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ..	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ.	9
.....	9
1.1 Энергия потоков ветра.....	9
1.2 Классификация ветроэнергетических установок и их особенности.....	9
1.2.1 Ветроэнергетические установки с горизонтальной осью вращения ротора .....	12
1.2.2 Ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения ротора .....	13
1.3 Мировой потенциал ветроэнергетики.....	15
1.4 Потенциал ветроэнергетики по Челябинской области .....	17
1.5 Показатели, влияющие на экономическую эффективность ветровой энергетики .....	18
Выводы по разделу 1 .....	19
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	21
2.1 Потребность в накоплении энергии от возобновляемых источников.....	21
2.2 Обзор применяемых в настоящее время аккумуляторов энергии .....	21
2.2.1 Химический накопители электронергии .....	22
2.2.2 Механический накопитель энергии и его виды.....	23
2.3 Цель и задача исследования маховичных накопителей энергии .....	25
2.4 Описание инерционного маховичного накопителя энергии .....	26
2.5 Параметры супермаховика и его применение в ветроэнергетике .....	32
Выводы по разделу 2 .....	37
3. СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ .....	39

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		4

3.1 Оценка эффективности работы механического накопителя энергии в условиях автономного жилого помещения .....	39
3.2 Расчет электропотребления жилого дома.....	39
Выводы по разделу 3 .....	49
4. ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ.....	50
4.1 Подбор оборудования для системы энергообеспечения жилого дома с помощью возобновляемых источников энергии .....	50
4.1.1 Расчет ВЭУ .....	50
4.1.2 Контроллер .....	54
4.1.3 Инвертор .....	54
4.2 Расчет маховичного аккумулятора энергии .....	57
Выводы по разделу 4 .....	62
5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ .....	63
5.1 Экономическая оценка эффективности .....	63
5.2 Экологическая оценка эффективности .....	64
Выводы по разделу 5 .....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	69



## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АКБ – аккумуляторная батарея

ВИЭ – возобновляемые источники энергии

ВЭС – ветроэлектрическая станция

ВЭУ – ветроэнергетическая установка

ГАЭС – гидроаккумулирующая электростанция

ДИБП – динамический источник бесперебойного питания

КИЭВ – коэффициент использования энергии ветра

КПД – коэффициент полезного действия

ЛЭП – линия электропередач

МН – механический накопитель

РАВИ – Российская Ассоциация Ветроиндустрии

РФ – Российская Федерация

ИБП – источник бесперебойного питания

ИНЭ – инерционные накопители энергии

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		6

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество способов получения различной энергии из практически любой материи. Имея значительные потребности в энергии, помимо необходимой для жизнедеятельности человеческого организма, в основном электрической, тепловой и химической, у человечества возникают потребности в накоплении выработанной энергии из-за неравномерности поступления и потребления.

Неравномерность потребления удобно отслеживать по графикам нагрузки за данного интервала времени (сутки, год, 10 лет)[1]. Здесь видны пики потребления (утро, вечер, обеденные часы) и спады (ночь).

Для покрытия больших скачков (пиков, максимумов) нагрузки, необходимо увеличение выработки энергии за счет добавления мощности энергетической установки (что требует времени и дополнительных ресурсов) либо за счет накопленной за интервал минимальной нагрузки (малого потребления) энергии.

В настоящее время такая модель потребления относится к потреблению электроэнергии, накопителями являются в основном химические аккумуляторы и гидроаккумулирующие установки.

С началом бурного использования ископаемого топлива в начале XX века, на задний план отошли некоторые возобновляемые источники энергии. Причинами выступают недостаточный уровень технологий, малая мощность установок и непостоянство потока энергии самого источника.

Так повсеместно используемая в настоящее время энергия ветрового потока, преобразуемая в механическую, затем в электрическую и т.д., имеет переменную скорость, направление либо периодически отсутствует. Эти недостатки можно компенсировать с помощью аккумулирования энергии.

Используя ветроэнергетические установки, далее ВЭУ, с вертикальной осью вращения, можно не беспокоиться о направлении потока ветра из-за наличия нис-

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		7

ходящих и восходящих потоков, перемещающихся преимущественно по вертикали.

Целью данной работы является обоснование актуальности применения механического кинетического накопителя энергии в составе энергетического комплекса, генерирующего энергию с помощью вертикально-осевой ветроэнергетической установки. Оценить целесообразность замены химических аккумуляторов кинетическим накопителем на базе супермаховика в системе автономного электроснабжения потребителя, либо стабилизации системы электроснабжения.

В работе выполнены следующие задачи:

- Приведено теоретическое описание ветроэнергетических электроустановок;
- Сделан сравнительный обзор механических накопителей энергии;
- Дано подробное описание кинетического накопителя энергии (супермаховика) и приведены основные характеристики;
- Рассчитана система автономного электроснабжения жилого помещения энергетическим комплексом на основе возобновляемых источников энергии;
- Подобрано оборудование для системы электроснабжения;
- Рассчитаны параметры супермаховика для накопления электроэнергии;
- Произведена экономическая оценка внедрения накопителя энергии в систему;
- Произведена оценка безопасности механического накопителя энергии.

Исследование актуальности применения супермаховика в энергетическом комплексе совместно с вертикально-осевой ветроэнергетической установкой основывается на сравнение механического и химического накопителя энергии, расчёте автономной системы электроснабжения, а также параметров и экономики накопителя.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
						8
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

# 1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

## 1.1 Энергия потоков ветра

Поток ветра – это следствие перемещения воздушных масс относительно земной поверхности в результате неравномерности нагрева и атмосферного давления воздуха.

«Основными характеристиками ветра являются направление потока и его средняя скорость за определенный период времени» [2].

На непостоянство данных характеристик влияют такие параметры окружающей среды, как интенсивность солнечной радиации, влажность воздуха, химический состав воздушных масс, высота прохождения потока относительно уровня поверхности земли или уровня моря, а также характер рельефа.

Энергия ветра составляет 1,5-2,5% поступающей на Землю солнечной энергии, которая переходит в кинетическую энергию воздушных масс[3].

Учитывая все особенности воздушных масс по энергетическим и аэрологическим характеристикам энергии потоков ветра метеорологические агентства составляют ветроэнергетический кадастр для каждого региона, то есть «систематизированный свод сведений, характеризующий ветровые условия местности, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений и дающий возможность количественной оценки энергии ветра и расчета ожидаемой выработки ветроэнергетическими установками».

«Энергетическими характеристиками ветра являются валовой, технический и экономический ресурсы или потенциал ветра» [2].

## 1.2 Классификация ветроэнергетических установок и их особенности

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) (Wind power plant) – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		9

энергии ветра в другие виды энергии (механическую, тепловую, электрическую и др.).

ВЭУ классифицируют по виду вырабатываемой энергии. Еще в античные времена использовали ветряные мельницы, преобразующие энергию ветра в механическую энергию. В настоящее время ВЭУ чаще генерируют электроэнергию, которую легко с меньшими потерями доставлять потребителям, которые в свою очередь вырабатывают механическую, тепловую и химическую энергию путем преобразования электрической.

Классификация ВЭУ по генерируемой мощности:

- Очень малой мощности – до 5 кВт;
- Малой мощности – от 5 до 99 кВт;
- Средней мощности – от 100 кВт до 1 МВт;
- Большой мощности – больше 1 МВт.

В зависимости от области применения ВЭУ подразделяются на ветронасосные – ВЭУ, работающие в области водоснабжения, орошения и осушения земель и тому подобное, и вестросиловые – ВЭУ, работающие с промышленными и бытовыми механизмами.

По способам управления ВЭУ классифицируются на автоматические, полуавтоматические и на ручном управлении.

По системе генерирования энергии ВЭУ подразделяются на автономные – ВЭУ, работающие независимо от сети энергоснабжения, гибридные – ВЭУ, работающие параллельно с независимыми малыми электростанциями, а также сетевые ВЭУ, работающие параллельно с мощной электрической сетью.

По заполнению лопастями ветроколеса ВЭУ делятся на тихоходные и быстроходные.

Тихоходные ВЭУ – ВЭУ с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при низкой скорости ветра и небольших оборотах ротора ветроколеса.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		10

Быстроходные ВЭУ – ВЭУ с малым заполнением ветроколеса развивают максимальную мощность при больших оборотах ветроколеса.

На классификации влияют геометрические параметры ВЭУ. По виду конструкции выделяют ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

От типа конструкции зависит значение коэффициента использования энергии ветра. Так электрическая мощность ВЭУ  $P_{Э}$  вычисляется через аэродинамическую мощность  $P_A$  через коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ)  $\xi$ [4]:

$$P_{Э} = \xi \cdot P_A, \text{ Вт} \quad (1.1)$$

«Реальный  $\xi$  горизонтально-осевых установок изменяется в пределах 0,25...0,47. Реальный  $\xi$  вертикально-осевых установок изменяется в пределах 0,09...0,48.

Теоретический максимальный КИЭВ является идеальным и на практике недостижимым в связи с неизбежным наличием потерь:

$\xi_{ж} = 0,593$  – предел Жуковского-Бетца (наиболее употребим в вычислениях);

$\xi_{с} = 0,687$  – критерий Сабинина»

Аэродинамическая мощность является энергией набегающего потока ветра, передаваемой ротору(ветроколесу) ВЭУ за 1 с:

$$P_A = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2}, \text{ Вт} \quad (1.2)$$

где  $P_A$ – аэродинамическая мощность, Вт;  $\rho$  – плотность воздуха, проходящего через ротор (принимается  $1,2041 \text{ кг/м}^3$  в сухом воздухе при температуре  $20^\circ\text{C}$  и давлении  $101,325 \text{ кПа}$ ),  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – скорость ветрового потока до встречи с ротором, м/с;  $m$  – масса воздуха, проходящего через ротор за 1 с, кг;  $V$  – объем воздуха, проходящий через ротор за 1 с,  $\text{м}^3$ ;  $S$  – ометаемая площадь ротора (у горизонтально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, перпен-

дикулярную оси вращения, у вертикально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, параллельную оси вращения), м<sup>2</sup>.

Диаметр ротора для горизонтально-осевых установок:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (1.3)$$

где  $\pi$  – безразмерная константа, равная 3,14;  $D$  – диаметр ротора.

Для вертикально-осевых роторов:

$$S = D \cdot H, \text{ м}^2 \quad (1.4)$$

где  $D$  – диаметр ротора;  $H$  – высота ротора [4].

### 1.2.1 Ветроэнергетические установки с горизонтальной осью вращения ротора

Горизонтально-осевая ветроэнергетическая установка – ветроэнергетическая установка, у которой ось ветроколеса расположена вертикально.

Далее рассмотрены преимущества и недостатки ВЭУ с горизонтальной осью вращения, изображенной на рисунке 1.1.

Преимущества:

- Большая мощность установки;
- Инерционные нагрузки направлены вдоль лопасти;
- Элементы опорно-подшипникового узла малогабаритна и компактна, как и ступица колеса.

Недостатки:

- Работа осуществляется только при наличии значительного ветра;
- Сложность точной ориентации на поток ветра;
- Механические повреждения проводки из-за вращения гондолы на оси опоры;

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
						12
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

- Наличие двух точек вращения;
- Повышенная опасность при отрыве лопасти;
- Плохо реагирует на штормовые порывы ветра;
- Создание шума;
- Требуется создание фундамента;
- Громоздкая конструкция при больших мощностях.

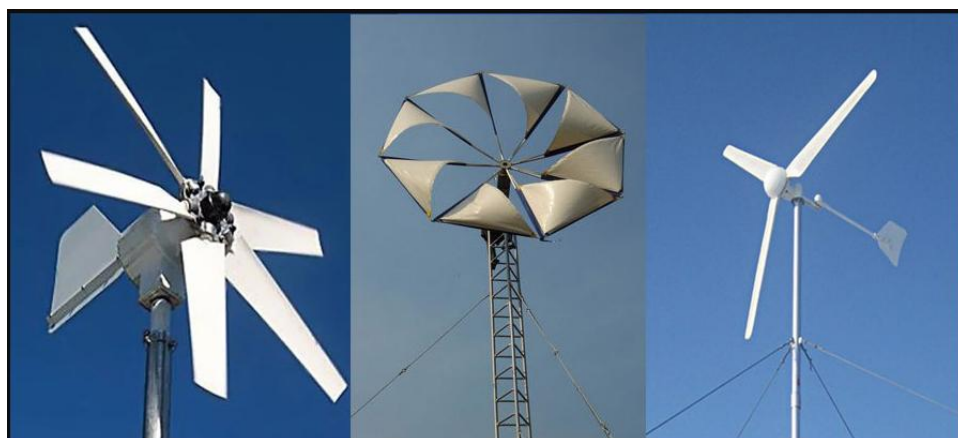


Рисунок 1.1 – Ветроэнергетические установки с горизонтальной осью вращения

### 1.2.2 Ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения ротора

Вертикально-осевая ветроэнергетическая установка – ветроэнергетическая установка, имеющая вертикально расположенную ось ветроколеса.

Далее рассмотрены преимущества и недостатки ВЭУ с вертикальной осью вращения, которая представлена на рисунке 1.2.

Преимущества:

- Запуск при низкой скорости ветра;
- Не нуждается в ориентации на ветер;
- Меньший вес конструкции
- Подходят для турбулентных ветровых условий;
- Легкость и удобство обслуживания;



- Более надежная конструкция, устойчивость к разрушающему давлению ветра;
- Низкий уровень загрязняющего шума;
- Более дешевая конструкция.

Недостатки:

- Малая мощность многих конструкций;
- Высокие вибрации, которые могут привести к осушению почвы.

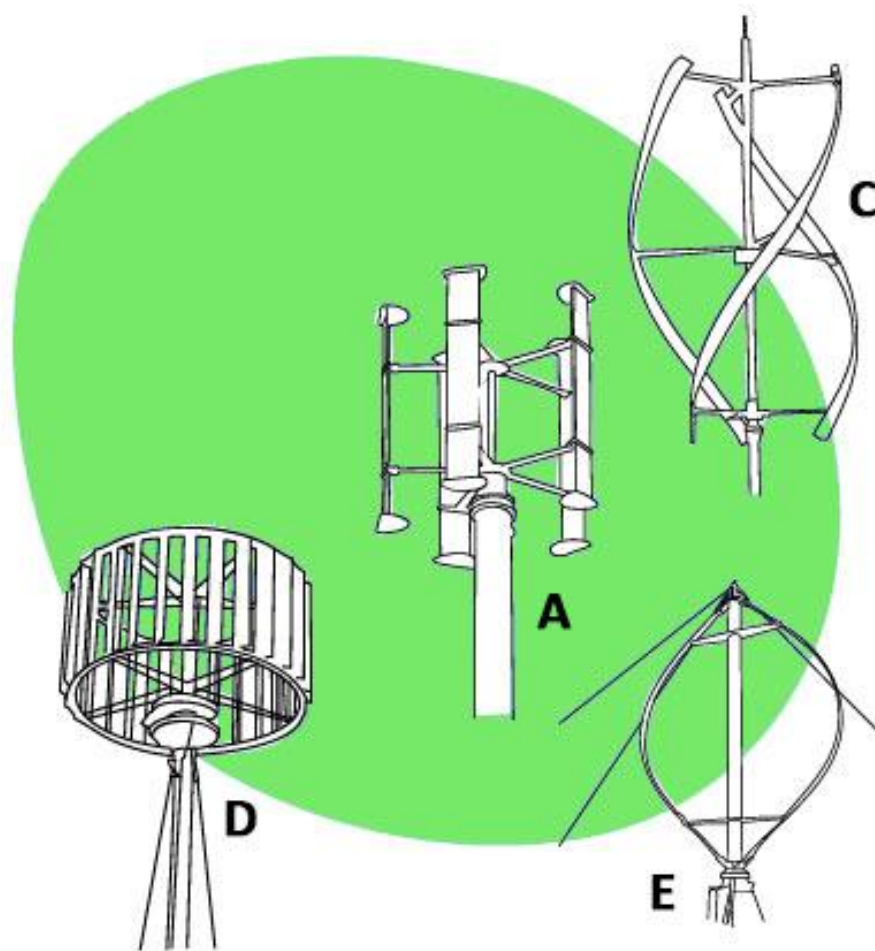


Рисунок 1.2 – Ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения[5]

А – Ортогональный; С – Геликоидный ротор или Ротор Горлова; D – Многолопастной ротор; E – Ротор Дарье

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

14

### 1.3 Мировой потенциал ветроэнергетики

Ветроэнергетический потенциал – часть ветроэнергетических ресурсов, из которой можно извлечь энергию для дальнейшего использования потребителями электрической и механической энергии.

На 2018 год установлено, что ветряные, солнечные и биогазовые электростанции потеснили уголь в производстве электроэнергии, особо в Германии, Великобритании и Франции. Выработка электроэнергии станциями на основе природного угля в Евро Союзе в 2018 году снизилась на 30% по сравнению с 2012 годом.

Согласно рисунку 1.3, генерация электроэнергии с помощью ветроэнергетических станций увеличилась на 0,8% при увеличении всей энергетике на основе ВИЭ на 2,3%.

В докладе *Achieving the Paris Climate Agreement Goals: Global and Regional 100% Renewable Energy Scenarios with Non-energy GHG Pathways for +1.5°C and +2°C* фонда *Leonardo DiCaprio Foundation* было отмечено, что при выполнении целей Парижского соглашения «годовой ввод материковых ветровых электростанций к 2025 году должен возрасти в 3 раза — до 172 ГВт; офшорная ветроэнергетика должна достичь годовых темпов роста в 32 ГВт к 2050 году».

Так же исследователи фонда, смоделировав переход на 100% использование ВИЭ, доказали, что возобновляемая энергетика будет не дороже существующей системы снабжения.

Подобные показатели приводят исследователи компании *BloombergNEF*, а именно: «В ветроэнергетике *BNEF* ожидает скачок — с 53,5 ГВт новых мощностей в 2018 году до более 70 ГВт в 2019 году, причем скачок состоится и в морской ветроэнергетике: будет добавлено 8,5 ГВт против 4,8 ГВт в 2018 году»[6].

По прогнозам специалистов, в 2019-2020 годах глобальный ветровой рынок превысив, как ранее, рубеж 60 ГВт введенных мощностей в год.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		15

Как сообщает Всемирное ветровое энергетическое совета, «к 2022 году общая установленная мощность ветровых электростанций в мире составит около 840 ГВт», что в 1,5 раза выше уровня 2018 года. А к 2030 году указанный показатель, как предполагается, способен достичь 2000 ГВт [7].

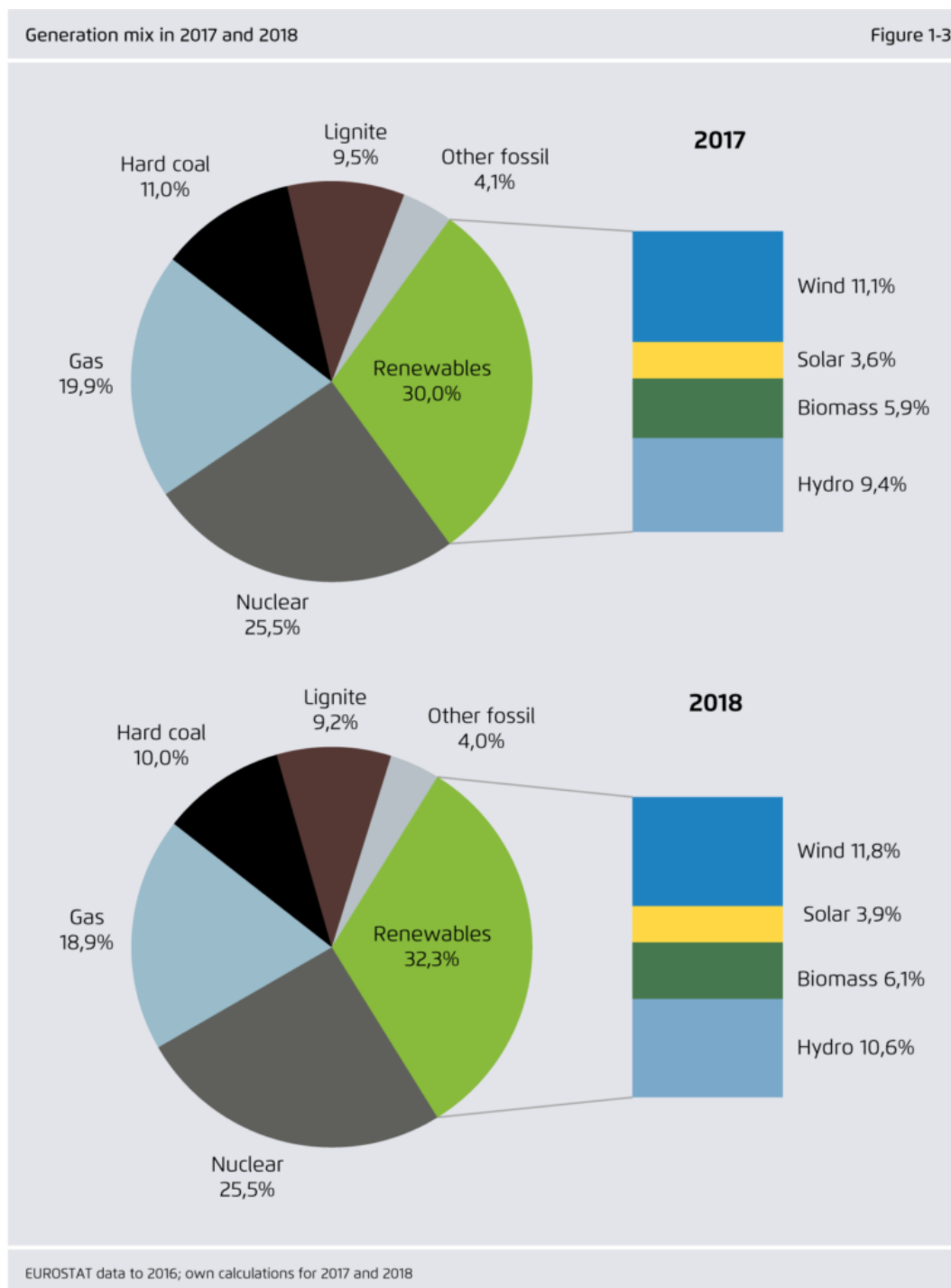


Рисунок 1.3 – Доля ВИЭ в производстве электроэнергии в Евро Союзе [6]

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

В России располагает природным ветроэнергетическим потенциалом равным  $10^6$  ТВт•ч/год на площадь  $17 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>. При этом установленная мощность ВЭС в России на апрель 2019 года составляет 190 МВт, как сообщает РАВИ. По исследованиям ассоциации установленная мощность ВЭС на 2018 год в Европе составляет 189 ГВт из 539 ГВт установленной мощности ВЭС в мире. По данным значениям видно, как российская ветропромышленность отстает от мирового уровня, имея значительный ветроэнергетический потенциал. «До пуска ВЭУ в Ульяновске в 2018 году установленная мощность ветроэнергетических установок составляла всего 105 МВт» [8].

#### 1.4 Потенциал ветроэнергетики по Челябинской области

По ветроэнергетическим кадастрам составляют таблицы градации скоростей ветра в течении года. Данные по градациям скоростей по территории города Челябинска представлены на рисунке 1.4.

Город Челябинск относится к третьей из 4-ех ветровых зон Челябинской области и имеет среднюю скорость ветра 3 м/с, в этой же зоне относятся Сосновский, Верхнеуральский, Каслинский, Нязепетровский и Нагайбакский районы с потенциалом 6,63 МВт ч/м<sup>2</sup> в год.

В два раза больше потенциал имеет вторая зона: 12,9 МВт ч/м<sup>2</sup> в год при среднегодовой скорости ветра 3–4 м/с, ко второй зоне относятся Агаповский, Аргаяшский, Брединский, Варненский, Карталинский, Кизильский, Октябрьский, Троицкий, Увельский, Чесменский районы.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		17

Месяц	Градации скоростей ветра, м/с								
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	Более 16
<b>Челябинск</b>									
Январь	0,46	0,25	0,15	0,08	0,04	0,01	0,005	0,005	0
Февраль	0,48	0,26	0,15	0,06	0,03	0,01	0,005	0,004	0,001
Март	0,45	0,29	0,15	0,06	0,04	0,01	0	0	0
Апрель	0,35	0,29	0,19	0,08	0,06	0,02	0,01	0	0
Май	0,31	0,32	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Июнь	0,35	0,34	0,19	0,08	0,04	0	0	0	0
Июль	0,42	0,34	0,16	0,05	0,03	0	0	0	0
Август	0,43	0,33	0,17	0,05	0,02	0	0	0	0
Сентябрь	0,41	0,29	0,17	0,07	0,04	0,02	0	0	0
Октябрь	0,35	0,3	0,18	0,09	0,05	0,02	0,01	0	0
Ноябрь	0,39	0,29	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0	0
Декабрь	0,51	0,25	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0	0
<b>Год</b>	<b>0,41</b>	<b>0,3</b>	<b>0,16</b>	<b>0,072</b>	<b>0,04</b>	<b>0,012</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>

Рисунок 1.4 – Градация скоростей по территории города Челябинска[2]

Самая перспективная зона Челябинской области (1 зона) имеет ветропотенциал 103 МВт ч/м<sup>2</sup> в год при среднегодовой скорости ветра, которая превышает 4 м/с. К первой зоне относится горный Кусинский район.

Самой бесперспективной для ветроэнергетики считается четвертая зона со среднегодовыми скоростями ветра, не превышающими 2 м/с. К четвертой зоне относятся Ашинский, Катав-Ивановский и Саткинский районы [2].

### 1.5 Показатели, влияющие на экономическую эффективность ветровой энергетики

Как и любая энергогенерирующая станция, ветроэнергетическая установка является дорогостоящим строением (устройством). Но главная особенность установок на основе солнечной, ветровой и гидроэнергии это бесплатность и почти повсеместное наличие источников энергии.

Главные трудности при использовании подобных станций и установок – это передача на дальнее расстояние выработанной энергии и сложность эксплуатации станций с большой мощностью, а также неравномерность поступления энергии:

ночью нет солнечного излучения, непостоянная скорость ветра, штиль, штормовой ветер, паводок, пересыхание рек и так далее.

Иногда не целесообразно протягивать линию электропередач до далеко расположенного объекта, так как это очень дорогостоящее мероприятие. Поэтому чаще в таких ситуациях стоимость установки автономной станции на основе ВИЭ гораздо дешевле, чем строительство ЛЭП. Особенно, если объект потребления находится в области с повышенной и постоянной ветреностью.

Однако, автономным электрическим и тепловым станциям необходима резервная аккумулирующая установка, что увеличивает стоимость всего энергокомплекса.

Экономическая эффективность должна исходить из:

- Установка ВЭУ в месте с хорошим ветроэнергетическим потенциалом, желательно на открытом пространстве;
- Верно выбранная мощность ВЭУ, соответствующая уровню потребления;
- Использование соответствующего аккумулирующего энергокомплекса;
- Правильная установка и эксплуатация ВЭУ.

Выводы по разделу 1

Ветроэнергетика – высокопотенциальное направление возобновляемой энергетики, главным достоинством которого является относительное постоянство по сравнению с солнечной радиацией.

Для отбора энергии у воздушных масс существуют ВЭУ различных мощностей, характеристик и конструкций, по этим параметрам классифицируются ВЭУ.

От конструкции ВЭУ (расположения оси вращения ветроколеса относительно поверхности земли, количества и исполнения лопастей ветроколеса), а также географического расположения и климатических условий зависят мощностные и рабочие характеристики ВЭУ.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		19

Ветроэнергетика как на территории Российской Федерации, так и на территории всего мира имеет достаточно большой природный ветровой потенциал, однако, в России в настоящее время используют только малую часть этого потенциала, который составляет 16500ТВт.ч/год. Это означает, что Российская Федерация обладает самым большим в мире техническим и экономическим потенциалом энергии ветра[9].

Разработанные планы по развитию ветроэнергетики России с каждым годом увеличивают значения установленной мощности ветропарков. Так за счет запуска ветропарка в городе Ульяновске за период с 2018 по 2019 была увеличена установленная мощность с 105 МВт до 190 МВт на территории РФ.

Челябинская область имеет небольшой ветроэнергетический потенциал, так как среднегодовая скорость составляет всего 3 м/с. В нашей области целесообразно размещать ВЭУ только на площадках со среднегодовой скоростью выше среднего показателя по всей области. Также расположение ВЭУ должно соответствовать экономической эффективности энергетического комплекса.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
						20
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Потребность в накоплении энергии от возобновляемых источников

Повсеместно используемая в настоящее время энергия ветрового потока, преобразуемая в механическую, затем в электрическую и т.д., имеет переменную скорость, направление либо периодически отсутствует. Эти недостатки можно компенсировать с помощью аккумулирования энергии.

Иногда минимальной скорости ветра достаточно для работы ВЭУ, но недостаточно для запуска из-за требуемого пускового момента. В таком случае используется электроэнергия из сети, если установка работает автономно, это может затруднить генерацию электроэнергии. Следовательно, необходимо аккумулирование энергии.

Однако для ВЭУ с горизонтальной осью вращения ротора требуется больший пусковой момент, чем у ВЭУ с вертикальной осью вращения, некоторые из которых начинают вращаться даже при отсутствии ветра из-за наличия восходящих и нисходящих вертикальных потоков воздушных масс, но такие конструкции малоэффективны.

Используя ВЭУ с вертикальной осью вращения, можно не беспокоиться о направлении потока ветра, но остановка установки не исключена, подобно отсутствию солнца ночью. Следовательно, требуется накопление энергии.

### 2.2 Обзор применяемых в настоящее время аккумуляторов энергии

В настоящий момент существует множество вариантов накопителей энергии начиная с механической и заканчивая ядерной энергией.

Совместно с энергетическими комплексами на основе возобновляемых источников энергии используют следующие виды аккумуляторов:

- Химические аккумуляторы;

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		21



- Аккумуляторы кинетической и потенциальной энергии;
- Тепловые накопители;
- Гидравлические буферные накопители и т.д..

Основными характеристиками накопителей электрической энергии являются:

- Мощность поставляемой энергии в систему;
- Энергоемкость запасаемой и отдаваемой энергии;
- Время отклика (время перехода накопителя из нерабочего состояния (холостого хода, режима зарядки) в состояние отдачи энергии);
- Время разряда, в течение которого энергия поставляется в энергосистему без подзарядки;
- Плотность мощности и энергии на единицу веса накопителя;
- Суммарная эффективность накопителя, определяемая процентным соотношением энергии, полученной при разрядке к энергии, затраченной на накопление энергии.

### 2.2.1 Химический накопители электронергии

Накопление выработанной энергии с помощью ВЭУ в химических аккумуляторах, электрическая схема которого представлена на рисунке 2.1, широко распространено, но не максимально эффективно из-за потерь в ходе преобразования механической энергии в электрохимическую. Тем более при использовании накопленной энергии для запуска, остановки и регулирования скорости ветроустановки.

Главными недостатками химических накопителей являются [10]:

- Относительно недолгий срок службы, который уменьшается, если не поддерживать регулярность циклов зарядки-разрядки;
- Зависимость заряда от условий внешней среды (температура воздуха, влажность, прямые солнечные лучи, вибрация и т.п.);
- Загрязнение окружающей среды при неправильной утилизации;

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		22

- Опасность взрыва и пожара из-за повышенной кислотности электролита;
- Отравление организма человека парами и жидким токсичным составом.

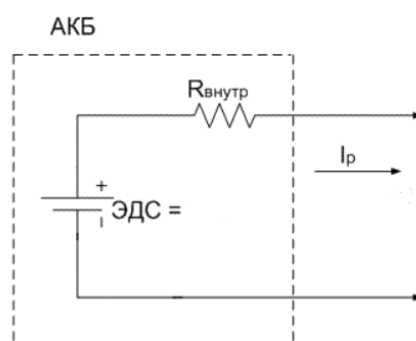


Рисунок 2.1 – Электрическая схема аккумуляторной батареи

Главным преимуществом является относительно низкая стоимость одной аккумуляторной батареи, если создавать целый аккумулирующий энергокомплекс стоимость будет весьма весомым фактором для некоторых категорий потребителей.

### 2.2.2 Механический накопитель энергии и его виды

Существуют такие аккумуляторы энергии, которые способны накапливать кинетическую и потенциальную энергию. Этот тип аккумуляторов относится к механическим накопителям энергии.

Далее приведена классификация механических накопителей энергии:

1. Гравитационные механические накопители, использующие потенциальную энергию;
  - 1.1 Гравитационные твердотельные механические накопители;
  - 1.2 Гравитационные жидкостные механические накопители;
2. Кинетические (колебательные и инерционные) механические накопители;
  - 2.1 Колебательные (резонансные) накопители энергии;
  - 2.2 Маховичные накопители энергии;
  - 2.3 Гирорезонансные накопители энергии (эластичные маховики);

3. Механические накопители, использующие силы упругости;

3.1 Пружинные механические накопители;

3.2 Газовые механические накопители;

3.3 Гидробуферные механические накопители.

Гравитационные накопители имеют достаточно большую емкость заряда, но требуют большую используемую площадь для накопления, так как накапливают потенциальную энергию, напрямую зависящую от высоты, следовательно, конструкция такого накопителя, либо протяженная на дальнейшее расстояние и находящаяся под наклоном, либо имеет значительную высоту. Примером гравитационного твердотелого накопителя являются такие аккумулирующие установки, как гравитационные тележки и башни, а жидкостным – гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС).

Использующие силы упругости пружины механические накопители обладают низким КПД и малой мгновенной мощностью, однако, накапливают максимальную энергию в минимальном объеме рабочего тела.

В свою очередь газо- и гидромеханические накопители за счет упругости сжатого газа или жидкости имеют не особо большой запас энергии и используются, как дополнительное оборудование на турбинных и поршневых двигателях, повышая ресурс и экономичность расхода энергии.

Кинетические накопители за счет колебательного или поступательного движения запасают энергию вращения. Чаще всего такие накопители используют для стабилизации работы установок. Энергия запасается во всем объеме аккумуляторов, но в зависимости от конструкции накопителя рассчитана на разное поступление и потребление.

Принципом работы резонансного механического накопителя является возвратно-поступательное движение груза, подобные накопители работают по принципу маятника, метронома и так далее. Такие установки и приборы имеют малое КПД.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		24

Основная проблема использования гироскопических (маховичных) накопителей это регулирование скорости вращения, которая является линейной зависимостью накопленной энергии[11].

### 2.3 Цель и задача исследования маховичных накопителей энергии

Для максимальной эффективности, долговечной работоспособности энергетических установок и минимальных затрат энергии на дополнительные процессы необходимо использовать энергию вращения, например, инерционные маховичные накопители, аккумулирующие кинетическую энергию и способные мгновенно отдавать накопленную.

Целью работы является исследование маховичного накопителя, которое необходимо для выявления актуальности использования супермаховика в системе энергокомплекса совместно с горизонтально осевой ВЭУ, так как супермаховик более экологически чистый и долговечный накопитель энергии по сравнению с химическими АКБ.

Для достижения поставленной цели ставятся следующие задачи:

- 1) Изучить типы и конструкции маховичных накопителей, определить основные преимущества и недостатки;
- 2) Сделать сравнительный анализ маховичного накопителя энергии и уже существующих систем накопления энергии (химическими аккумуляторами);
- 3) Рассчитать параметры кинетического накопителя энергии;
- 4) Подобрать необходимое оборудование, сделать его краткое описание;
- 5) Дать экономическую оценку всей системы энергоснабжения;
- 6) Сделать экологическую оценку эффективности всей системы энергообеспечения жилого дома;
- 7) По полученным данным работы оценить целесообразность применения механического накопителя энергии в автономной системе электроснабжения[12].

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
						25
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

## 2.4 Описание инерционного маховичного накопителя энергии

Инерционный (динамический) накопитель энергии (ИНЭ), накапливающий энергию во вращающейся массе, содержит цилиндрический маховик, который обладает большим моментом инерции и системой для подведения и съема энергии.

Электродвигатель (генератор) или электрическая машина, установленная на валу ИНЭ, подключенный к накопителю приводит маховик во вращение и задает ему максимальную возможную скорость вращения, энергия вращения (кинетическая энергия) сохраняется после отключения накопителя от генератора на длительное время, а затем может быть использована в разных объемах [11].

Супермаховик способен запастись больше энергии на единицу массы, чем все известные накопители энергии – электрохимические аккумуляторы, конденсаторы, пружины и т.п.. Это объясняется тем, что супермаховики восполнены из высокопрочных металлических лент и композитных волокнистых материалов, следовательно, супермаховик можно разогнать до огромных скоростей, причём зарядк такого накопителя происходит очень быстро[13].

Супермаховики обладают большим запасом энергии на объем массы, «дальнейшее увеличение уровня удельной энергии обуславливается использованием неметаллических волокон с малой плотностью и высокой прочностью, которые вместе с эпоксидными связующими составляют композитные технологические изделия, идущие на изготовление супермаховиков»[14].

Идея и конструкция супермаховика были предложены во второй половине XX века профессором, доктором технических наук Н.В. Гулиа для гибридного транспорта. Однако, как признается сам изобретатель супермаховик лучше устанавливать стационарно, так как это наиболее безопасно (при разрыве высвобождается значительная энергия), также внешние колебания не влияют на работу системы[15].

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		26

По типу конструкции супермаховичные накопители энергии классифицируются на ободковые, дисковые, стержневые и ленточные [16]. Конструктивные типы основных разновидностей супермаховиков представлены на рисунке 2.2.

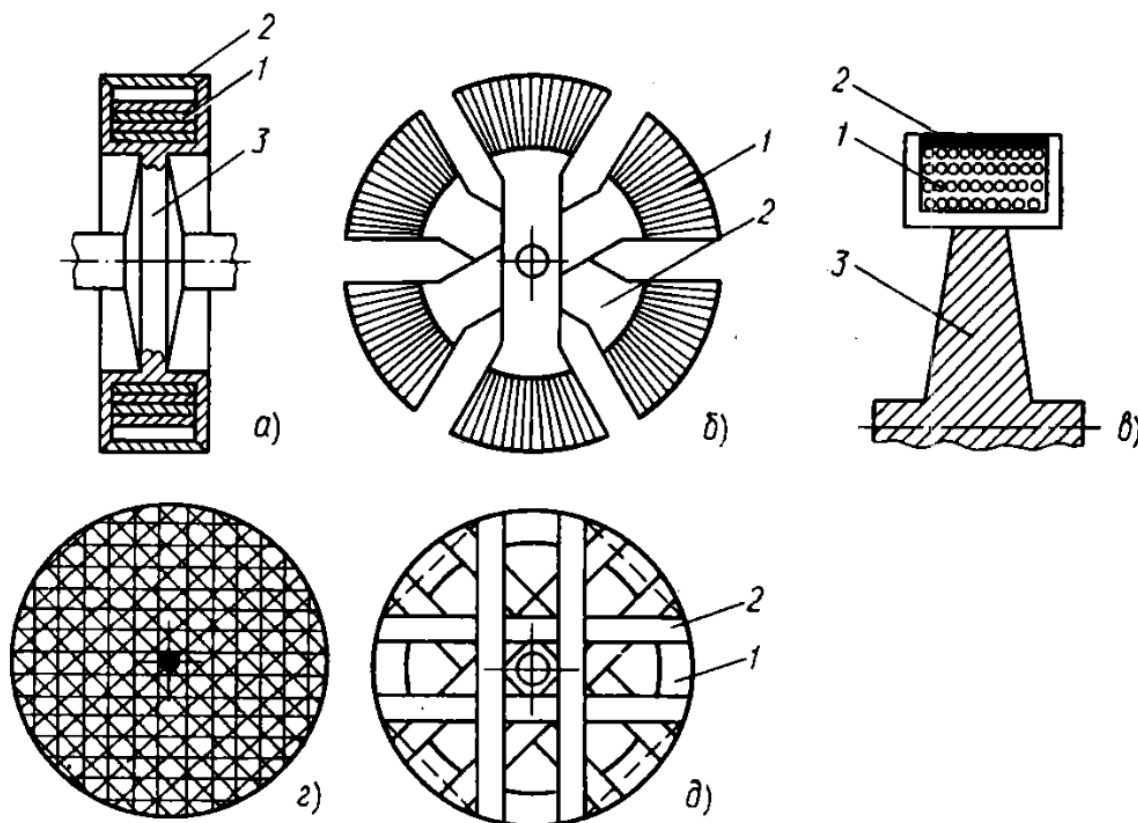


Рисунок 2.2 – Конструктивные типы основных разновидностей супермаховиков[16]:

а — ленточный (1 — металлическая лента; 2 — кожух; 3 — легкий диск);  
 б — стержневой (1 — волокonné стержни; 2 — обойма); в — ободковый  
 (1 — волоконный обод; 2 — бандаж; 3 — легкий диск); г — дисковый  
 (квазиизотропная композитная конструкция из волокон); д — ободково-дисковый  
 (1 — волоконный обод; 2 — ленточные спицы)

Маховик, изображенный на рисунке 2.3, сборного типа, который состоит из нескольких дисков диаметром примерно 1 м, высотой порядка 1 м. «В верхней части маховика находится направляющий подшипник 2, а в нижней — опорный подпятник 3. Электрическая машина 4 питается от системы переменного тока че-

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

27

рез умножитель частоты и разгоняет маховик до 7200 об/мин в режиме заряда»[17].

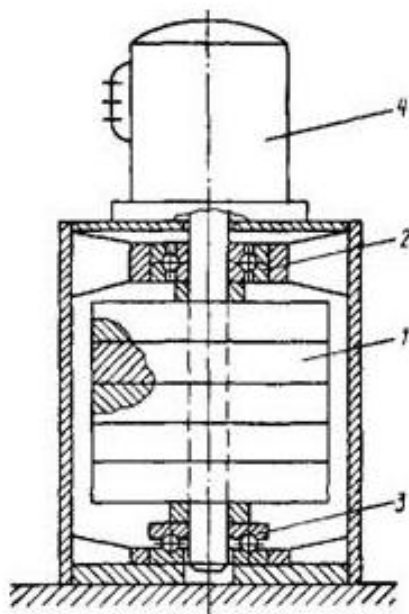


Рисунок 2.3 – Ободковый супермаховик на магнитном подвесе, совмещенный с дуговой индукционной (асинхронной) электрической машиной

При разряде МН эта машина работает как генератор и отдает энергию в электрическую систему.

Представленный на рисунке 2.4, кольцевой «супермаховик 1 из анизотропного волокнистого материала (органопластик кевлар) снабжен металлическими вставками в виде ряда секторов 2 и смонтирован в тороидальной глубоко вакуумной камере. Маховик поддерживается на четырех магнитных опорах 3. Каждая опора конструктивно совмещена в общем блоке с одним из четырех секторов статора дуговой индукционной машины, которая работает в обратимом режиме (как электродвигатель при заряде и как асинхронный генератор при Разряде МН)»[17].

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

28

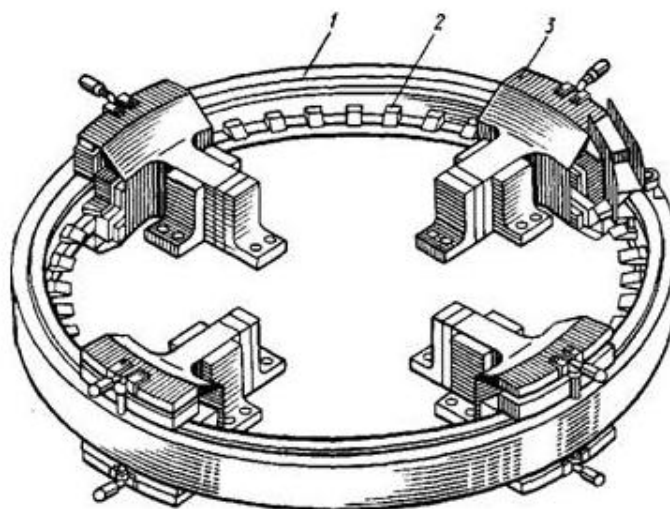


Рисунок 2.4 – Кольцевой инерционный НЭ для электроэнергетической системы[17]

«Секторные вставки 2 выполняют роль короткозамкнутых элементов ротора индукционной машины. Кольцевой супермаховик развивает окружную скорость 975 м/с, поэтому даже при большой мощности электрическая машина получается чрезвычайно легкой. Потери в МН определяются только малой мощностью вихревых токов в магнитном подвесе и незначительным аэродинамическим трением в вакуумной камере»[17].

Сравнить характеристики кольцевого супермаховика из келавра и дискового супермаховика из стали можно по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры инерционных МН с высоким использованием свойств материала маховиков соизмеримой энергии [18]

Параметр	Кольцевой маховик (материал: келавр)	Дисковый маховик (материал: сталь)
Запасенная энергия, кВт*ч	0,54	1,5
Масса маховика, кг	4,12	54
Удельная энергоёмкость Вт*ч/кг	132	27,6
Момент трения, Н*м	$3,26 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^2$
Удельный момент трения, Н*м/кг	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$29 \cdot 10^{-4}$
Удельная мощность потерь, Вт/кг	0,175	0,815
Время выбега до полной остановки, В*ч	750	34

Конструкция супермаховика, представленная на рисунке 2.5, должна быть рассчитана на высокие механические и электрические нагрузки, поэтому составляю-



щие устройство элементы должны быть высокотехнологичны, чтобы обеспечить надежную длительную работу не только системы аккумулирования энергии, но и всего энергетического комплекса.

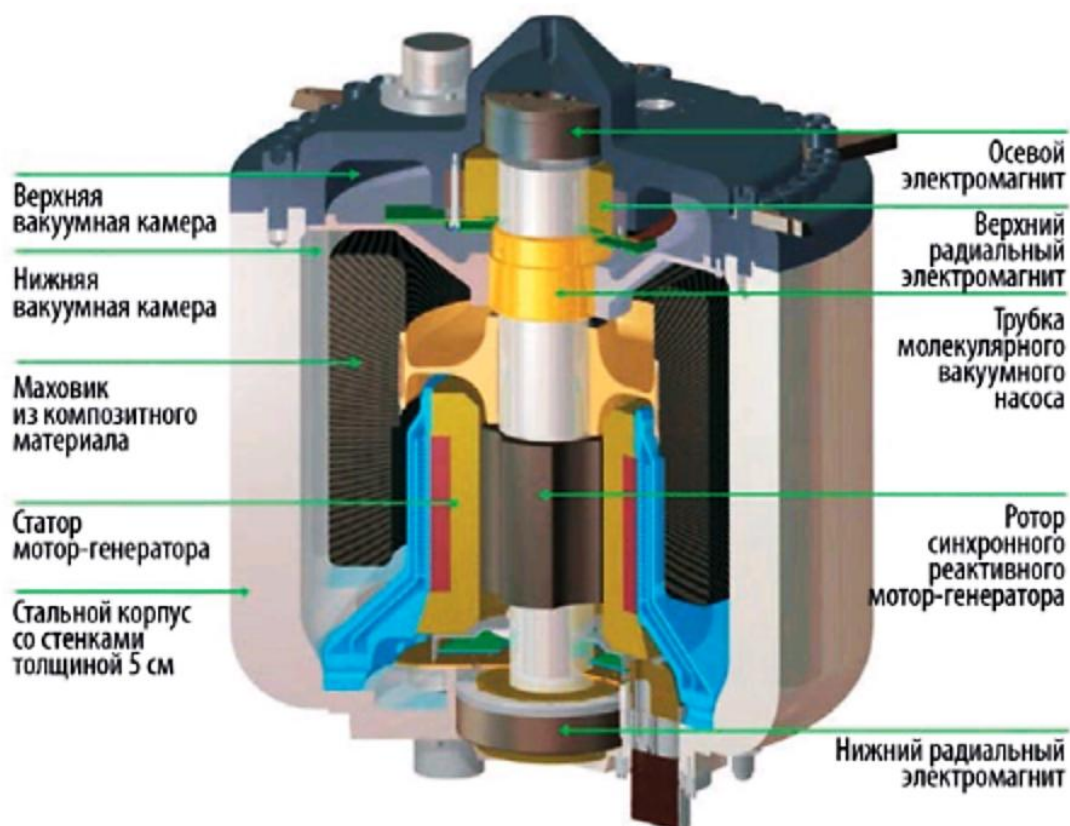


Рисунок 2.5 – Конструкция супермаховичного накопителя Weacon Power Smart Energy [19]

«Для уменьшения потерь при больших оборотах от трения маховика о воздух, маховик рекомендуется размещать в вакуумной камере. Эта камера должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать атмосферное давление около 10 кг на квадратный сантиметр, а также обеспечить надёжную фиксацию подшипников и вала маховика. Если при аварии не будет разрушений корпуса, то всё равно вся накопленная энергия выделится в виде тепла.

Для безопасности при испытаниях герметичную капсулу с маховиком размещают под землёй. Если вал для передачи механической энергии проходит через корпус, то трудно поддерживать вакуум. Приходится дополнительно задействовать вакуумные насосы.

Можно разместить двигатель – генератор внутри капсулы, а электричество передавать по проводам, но тогда в вакууме не будет работать воздушное охлаждение и может понадобится дополнительная система, например, жидкостного охлаждения. С некоторыми дополнительными потерями можно передавать энергию и с помощью вращающегося магнитного поля.

Для уменьшения трения в подшипниках рекомендуется использовать магнитную подвеску маховика, которая должна взять на себя всю или часть нагрузки. В конструкции супермаховика используют магнитные подшипники и вакуумную камеру, что позволяет уменьшить потери энергии до 2%.

Разработана конструкция супермаховика без механической оси вращения. Намотанный из высокопрочного материала маховик находится в подвешенном состоянии по принципу магнитного парения (левитации) за счёт использования электромагнитов»[20].

«Магнитные опоры (подшипники и подпятники) выгодны в конструкциях супермаховиков на базе волокнистых материалов, которые даже при больших диаметрах имеют относительно малую массу вследствие низкой плотности материала.

Опоры выполняются на постоянных магнитах и электромагнитах постоянного либо переменного тока (индуктивного типа), а также в виде различных комбинированных устройств»[16].

Супермаховичные аккумуляторы энергии используются в системах:

- Аварийного электропитания электростанций, промышленных объектов, объектов специального назначения;
- Выравнивание нагрузки, покрытие пиков и провалов, первичное регулирование частоты сети;
- Источник электроэнергии транспорта и механизмов;
- Источник бесперебойного электропитания промышленных и бытовых объектов[21].

## 2.5 Параметры супермаховика и его применение в ветроэнергетике

Насколько известно, первым использовал маховичный аккумулятор в составе ветроэнергетической установки изобретатель А.Г. Уфимцем, г. Курск, первая половина XX века[22].

В современном варианте, чтобы передать крутящий момент с ВЭУ на маховичный накопитель, необходимо предусмотреть установку редуктора-вариатора, с помощью которого можно увеличивать передаточное число, и муфты передачи момента для уменьшения потерь на передаче. Принцип работы системы показан на рисунке 2.6.

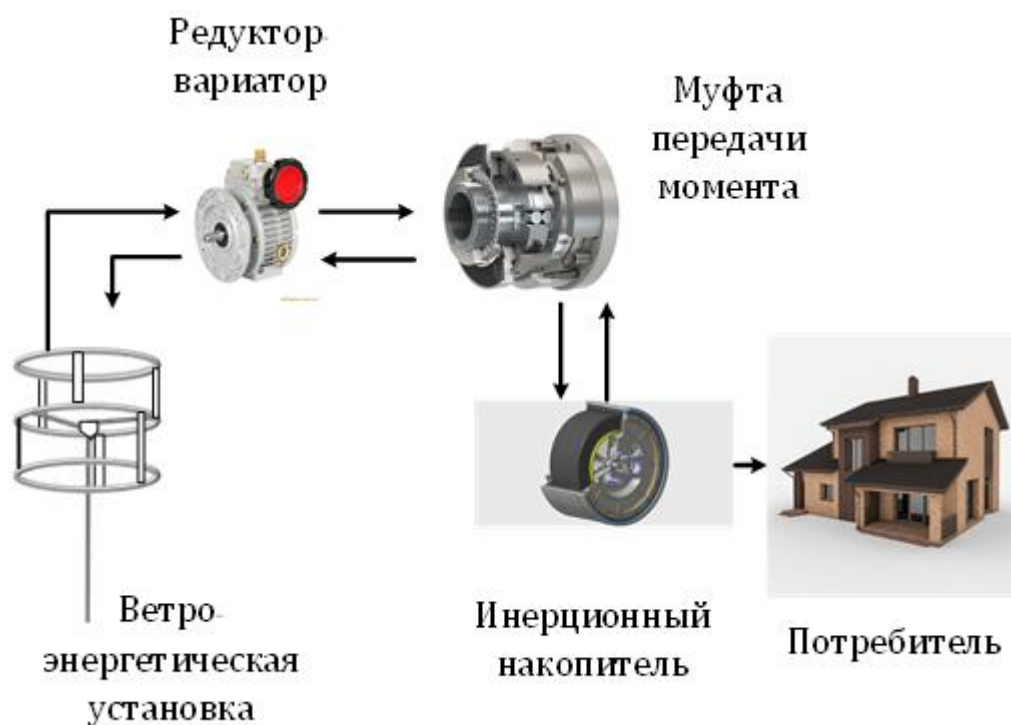


Рисунок 2.6 – Принцип работы ВЭУ с маховиком для накопления, передачи энергии и регулирования работы ВЭУ

По сравнению с химическими аккумуляторами, супермаховик имеет наиболее большую плотность энергии на объем накопителя.

Скорость вращения зависит от механической прочности материала, из которого выполнен маховик, также внутренние неоднородности и дефекты.

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

32

Прочность рабочего тела супермаховика влияет на рабочие характеристики установки. В настоящее время найдены решения проблемы прочности, способного выдержать сверхвысокие скорости вращения, однако в системе с ВЭУ не нужны высокие скорости.

В России уже имеет возможность производить накопители в интеграции с установками на основе возобновляемых источников энергии.

Супермаховичные накопители кинетической энергии обладают следующими преимуществами:

- Высокая удельная энергоемкость системы;
- Высокая скорость компенсации провалов энергоснабжения;
- Срок службы – более 25 лет;
- Возможность управление качеством и мощностью электроэнергии;
- Мгновенный запуск (миллисекунды);
- Вариативность расположения накопителя;
- Требуют меньше технического обслуживания;
- Меньшие тепловые потери;
- Простота эксплуатации;
- Более высокая эффективность;
- Безопасность утилизации;
- Диапазон рабочих температур:  $-40^{\circ}\text{C} - +50^{\circ}\text{C}$ .

Недостатки супермаховичных накопителей кинетической энергии:

- Относительно высокая стоимость;
- Нет массового производства в России;
- Трудность обслуживания устройства;
- Врыво- и разрывоопасность некоторых конструкций;
- Большие габариты маховиков с низкой скоростью.

Чтобы передать крутящий момент с ВЭУ на маховичный накопитель, необходимо предусмотреть установку редуктора-вариатора, с помощью которого можно увеличивать передаточное число, и муфты передачи момента для уменьшения потерь на передаче. Принцип работы системы показан на рисунке 2.7.

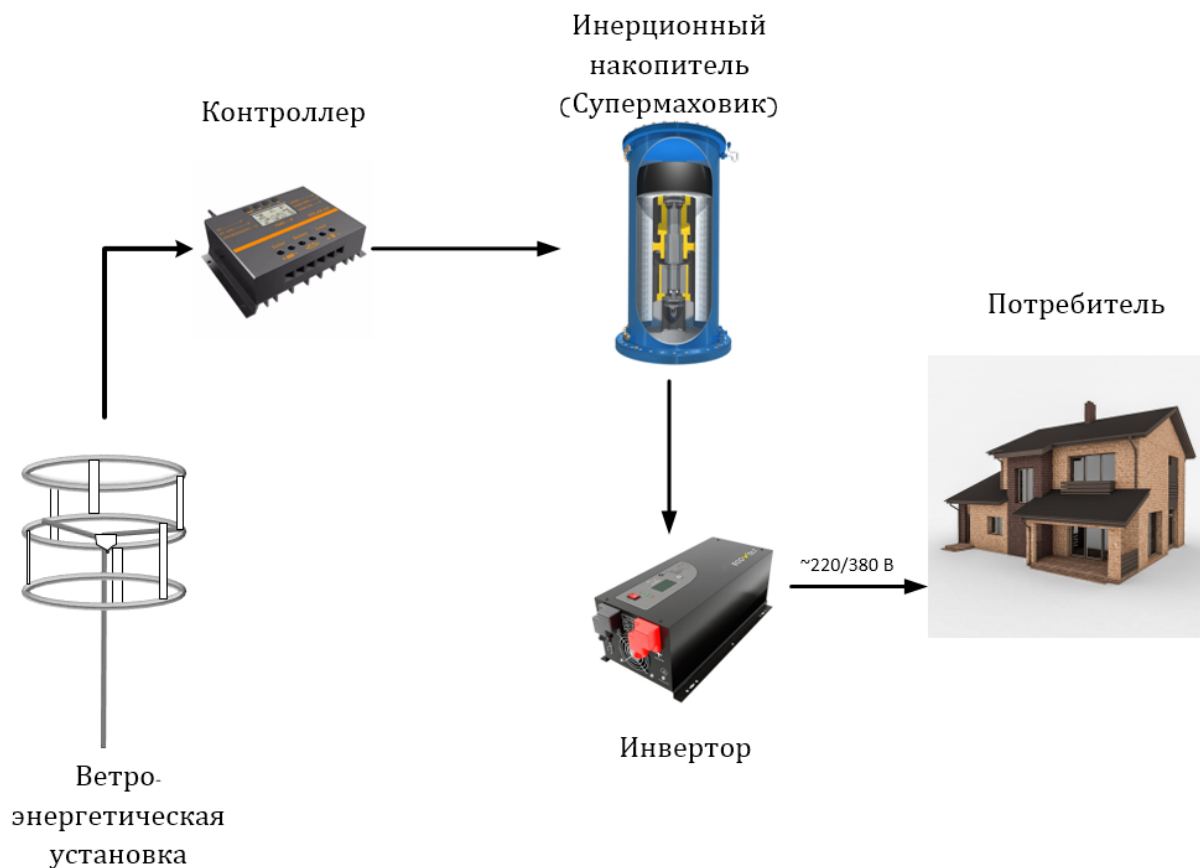


Рисунок 2.7 – Принцип работы ВЭУ с супермаховиком для накопления, передачи и регулирования энергии, а также для экстренного торможения ВЭУ

Регулирование сети электроснабжения на основе ВИЭ с интеграцией Супермаховика представлен на рисунке 2.8.

**ENERGY SYSTEM USING  
INTERMITTENT POWER SOURCES, MECHANICAL BATTERIES, AND THE GRID**

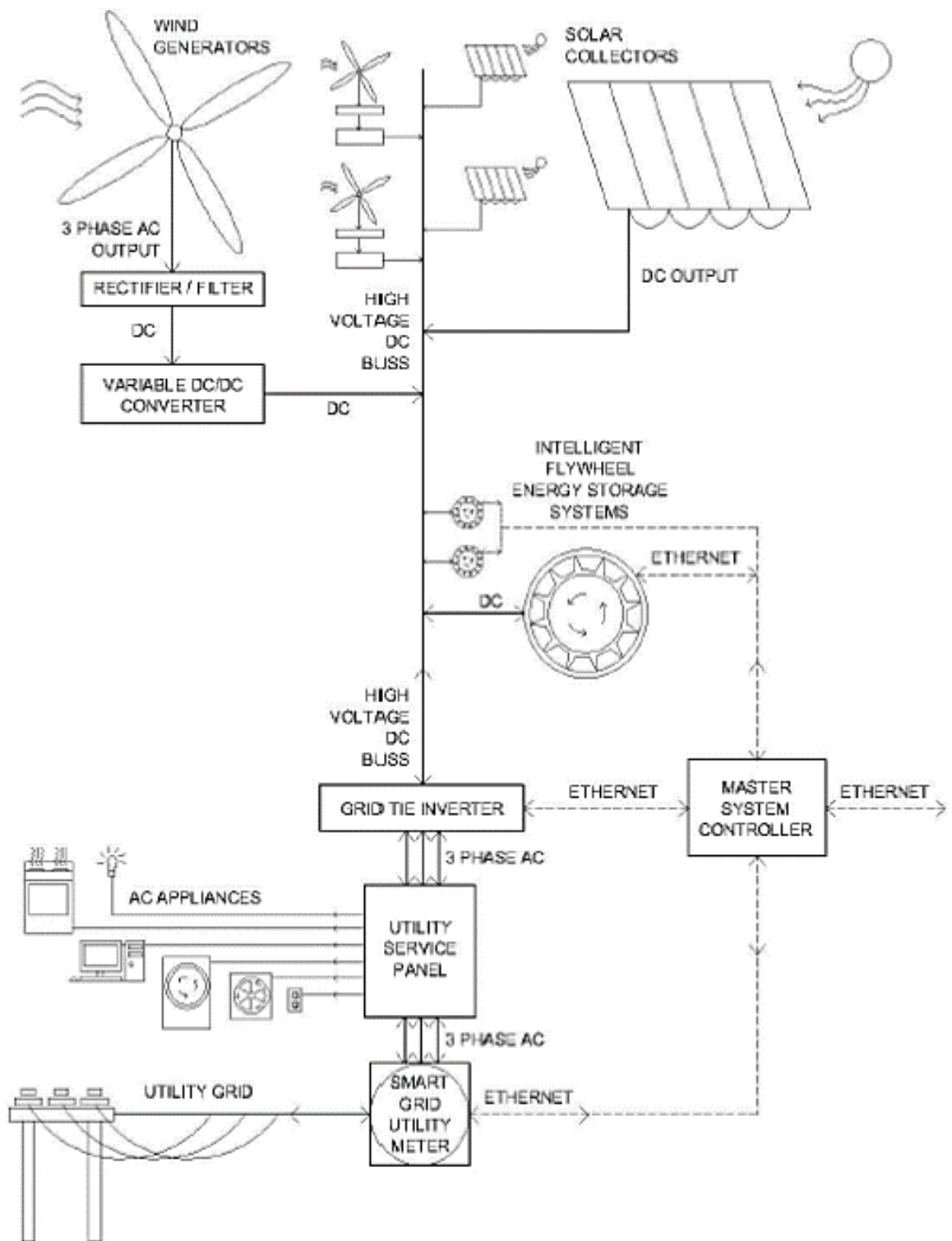


Рисунок 2.8 – Регулирование сети электроснабжения на основе ВИЭ с интеграцией Супермаховика

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Маховики имеют отличные характеристики старения, способные выдержать примерно 1,000,000 циклов, независимо от скорости заряда и глубины разряда. Старение материала связана с механическими нагрузками [23, 24, 25].

На рисунке 2.9 изображен график зависимости деформации от количества циклов до отказа. Предел усталости (бесконечные циклы) для композитных маховиков напрямую связаны с деформацией. Данный график относится к маховику в состоянии заряда и не превышает определенного длительного жизненного цикла [15,26,27].

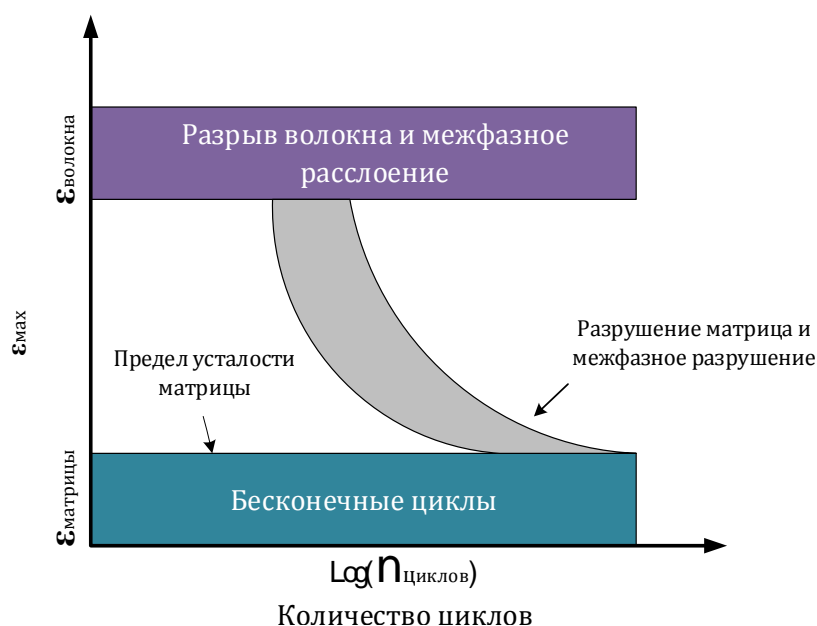


Рисунок 2.9 – Количество циклов заряда-разряда до отказа в зависимости от напряжения [23]

Варианты материалов для исполнения супермаховика представлены в таблице 2.2 [28].

Таблица 2.2 – Варианты материалов для супермаховиков

Материал	Плотность [кг/м <sup>3</sup> ]	Максимальная скорость [м/с]	Предел прочности [Н/мм <sup>2</sup> ]
Композитное углеволокно	1700	>800	2,000
Композитное стекловолокно	2000	600	700
Супертвердая сталь	8000	525	2,250
Высокопрочная сталь	8000	455	1,700
Титан	4600	440	920
Высокопрочный алюминий	2800	425	520

Максимум скорости сращения маховик достигает на уровне заряда близком к 100%. Однако имеются некоторые конструкции, которые позволяют замедлить процесс «саморазряда». Например, супермаховик Boeing, характеристика которого представлена на рисунке 2.10.

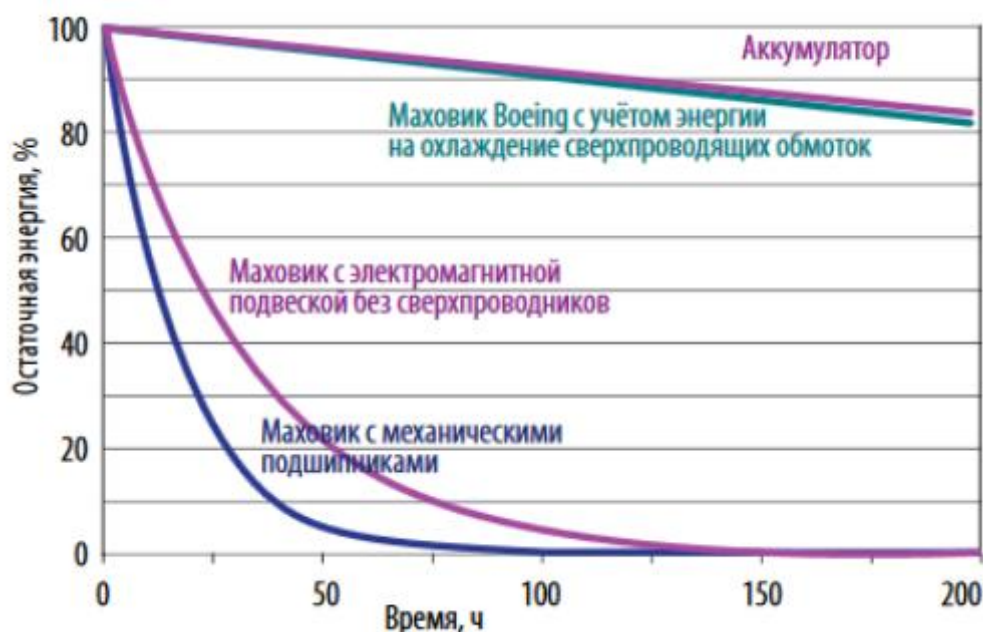


Рисунок 2.10 – Кривые «саморазряда» маховичных накопителей разного вида[20]

## Выводы по разделу 2

При использовании ВЭУ, как основной источник питания, возникает потребность в регулировании и накоплении поступающей электроэнергии из-за переменного характера потоков ветра.

В настоящее время для подобных целей широко используются химические аккумуляторы, которые имеют сложные условия эксплуатации, малый срок службы (около 5 лет), являются взрывоопасными и пожароопасными объектами, а токсичный электролит, который очень вреден для окружающей среды при неправильной утилизации.

Альтернативой выступают механические аккумуляторы, в частности инерционные накопители энергии, которые способны накапливать кинетическую энер-



гию вращения в объеме рабочего тела. Например, маховичные накопители, созданные из сверхпрочных материалов, супермаховики.

Такие конструкции обладают КПД до 97%, и чтобы уменьшить потери на преобразование энергии, супермаховик находится в вакуумной камере, а раскручивается на магнитном подвесе (сохраняются только потери на силу трения воздуха).

Супермаховичный накопитель обладает значительными преимуществами (срок службы около 25 лет, не требует обслуживания в первые 5 лет, высокая эффективность, быстрая отдача энергии и т.д.), но имеет некоторые недостатки (первичные капиталовложения, сложность магнитных подшипников, при аварии высвобождается значительная энергия, может произойти взрыв или пожар и т.д.).

ИНЭ на базе супермаховика лучше использовать для обеспечения бесперебойной работы сети и покрытия максимумов и провалов потребления, так как накопитель способен мгновенно отдавать накопленную энергию, а затем быстро восполнить запасы.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		38

### 3. СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

#### 3.1 Оценка эффективности работы механического накопителя энергии в условиях автономного жилого помещения

С увеличением плотности населения городов и технических прорывов возрастает потребность в получении электроэнергии. Для людей, живущих в многоэтажных домах вопрос с получением и оплатой электроэнергии однозначен, здесь нет альтернатив. Однако для живущих в собственных домах, даже в городе, имеется вариант автономного вырабатывания электроэнергии независимо от энергопоставщиков. Такие потребители могут воспользоваться энергетическими комплексами, чтобы удовлетворять свои потребности в электроэнергии.

Чтобы выявить актуальность применения механического инерционного накопителя в системе электроснабжения совместно с ВЭУ, необходимо произвести анализ по методу расчета автономной системы электроснабжения на основе ВИЭ.

В следствии разнообразия приборостроения и электрической техники характеристики энергетического комплекса будут различны, так как каждый отдельный потребитель индивидуален. Необходимо учесть среднее потребление днем, ночью и в сутки, так же пиковые значения энергопотребления. Выяснив технические условия потребителя, можно подобрать подходящий энергетический комплекс на основе того или иного источника возобновляемой энергии либо собрать аналогичный комплекс из достаточно обширного ассортимента, предложенного на рынке технических устройств [29].

#### 3.2 Расчет электропотребления жилого дома

Для подсчета энергопотребления дома необходимо рассчитать среднесуточную и пиковую потребляемую мощность объекта. Для расчёта используется

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		39

номинальная мощность каждого устройства в соответствии с руководством производителя.

Выбранные электрические приемники и их мощность (кВт) указаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Электропотребители

№	Электроприемник	Установленная мощность, кВт
1	холодильник	0,60
2	ПК	0,87
3	электроплита	10,00
4	чайник	2,20
5	кофемашина/фен	1,50
6	освещение	1,58
7	аудиосистема	0,50
8	водонагреватель	2,00
9	микроволновка	0,80
10	телевизор	0,32
11	кондиционер	0,98
12	утюг	0,24
13	стиральная машина	2,00

Общее энергопотребление прибора за неделю  $E_{\text{день}}$  рассчитывается как умножение номинальной мощности  $P_{\text{прибора}}$  на количество часов работы  $t_{\text{раб}}$ . Требуется рассчитать потребляемую электроэнергию в кВт\*ч в сутки по формуле (3.1):

$$E_{\text{день}} = t_{\text{раб}} \cdot P_{\text{прибора}} = 32.81, \text{ кВт*ч} \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{раб}}$  – время работы прибора, ч;  $P_{\text{прибора}}$  – мощность прибора, кВт.

Потребляемая электроэнергия приборов в кВт\*ч днем и ночью на протяжении недели сведена в таблицу 3.2.

С помощью данных в таблице 3.2 вычислено:

Общая потребляемая мощность всех приборов одновременно: 23,39 кВт;

Суточный объем потребления энергии всеми устройствами, то есть количество энергии, потребляемое объектом в день: 32,81 кВт\*ч;

Средняя потребляемая энергия днем: 9,12 кВт\*ч;

Средняя потребляемая энергия ночью: 23,68 кВт\*ч;

Средняя потребляемая энергия в сутки: 16,47 кВт\*ч.

Для получения точного результата почасового потребления электроэнергии была составлена таблица 3.3.

Из данных таблицы 3.3 получены:

Максимальная потребляемая энергия днем: 13,80 кВт\*ч;

Максимальная потребляемая энергия ночью: 13,95 кВт\*ч.

Результирующий график электропотребления по таблице 3.3 показан на рисунке 3.1.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		41

Таблица 3.3 – Почасовое потребление приборов за неделю

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Общая мощность кВт*ч	
															прибор
Мощность, кВт	0,40	0,87	10,00	2,20	1,50	1,58	0,50	2,00	0,80	0,32	0,98	0,24	2,00	23,38	
день недели	время дня	средняя рабочая мощность, кВт													
ПОНЕДЕЛЬНИК	0:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,37
	1:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,87
	2:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,00
	3:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	6:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	1,50	1,58	0,50	2,00	0,80	0,00	0,00	0,24	0,00	8,84
	7:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,52
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	10:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	11:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	12:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	13:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	16:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	17:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	18:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	12,58
	19:00:00	0,02	0,87	10,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	13,95
20:00:00	0,02	0,87	0,00	2,20	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	6,47	

Продолжение таблицы 3.3.

	21:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	2,00	0,00	0,32	0,98	0,24	0,00	6,51
	22:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,95
	23:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	1,50	1,58	0,50	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	5,77
вторник	0:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,80	0,00	0,98	0,00	0,00	4,75
	1:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39
	2:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39
	3:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	6:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	1,50	1,58	0,50	2,00	0,80	0,32	0,00	0,00	0,00	8,92
	7:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,24	0,00	2,08
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	10:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	11:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	12:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	13:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	16:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	17:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	18:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	10,34
	19:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	1,58	0,00	0,00	0,80	0,32	0,00	0,00	0,00	4,22
	20:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	1,58	0,00	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	4,40
	21:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,95
	22:00:00	0,02	0,87	0,00	2,20	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	6,15
23:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	5,95	
среда	0:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	5,95
	1:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39
	2:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39
	3:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02

Продолжение таблицы 3.3.

среда	6:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	1,58	0,50	2,00	0,80	0,32	0,00	0,24	0,00	6,96
	7:00:00	0,02	0,00	10,00	2,20	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,80
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	10:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	11:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	12:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	13:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	16:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	17:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	18:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	19:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,78
	20:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	1,58	0,00	0,00	0,80	0,32	0,98	0,00	0,00	5,20
	21:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	2,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	5,40
22:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	3,40	
23:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	3,40	
четверг	0:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,08
	1:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,58
	2:00:00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
	3:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	6:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	0,00	1,58	0,00	2,00	0,80	0,32	0,00	0,00	0,00	6,92
	7:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	1,84
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	10:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	11:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	12:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	13:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата
-----	------	-------------	-------	------

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

46

Продолжение таблицы 3.3.

	16:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
	17:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
	18:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,80	0,00	0,98	0,00	0,00	12,30	
	19:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	11,50	
	20:00:00	0,02	0,87	10,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	12,69	
	21:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	1,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,32	0,98	0,00	0,00	4,19	
	22:00:00	0,02	0,87	0,00	2,20	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,57	
	23:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	2,00	0,00	0,00	0,98	0,24	0,00	4,61	
ПЯТНИЦА	0:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,37	
	1:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	1,50	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	5,45	
	2:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,37	
	3:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,37	
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
	6:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	1,50	1,58	0,50	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60
	7:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	1,58	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,10
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	10:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	11:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	12:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	13:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	16:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	17:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	18:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39
	19:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	1,50	1,58	0,50	0,00	0,80	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	6,25
	20:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	1,50	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	5,45
	21:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	2,58
	22:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	2,58
23:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	2,58	

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

47



Продолжение таблицы 3.3.

суббота	0:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,58
	1:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,58
	2:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,00
	3:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	6:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	7:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02
	10:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,72
	11:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,50	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82
	12:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02
	13:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	16:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	11,00
	17:00:00	0,02	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	11,00
	18:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,20
	19:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,58
	20:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,45
	21:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,58
	22:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,58
23:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,95	
воскресенье	0:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,95
	1:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,58
	2:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,00
	3:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	4:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	5:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	6:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	7:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,02
	8:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02
9:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	

Продолжение таблицы 3.3.

воскресенье	10:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,70
	11:00:00	0,02	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,87
	12:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,80	0,00	0,98	0,00	0,00	3,17
	13:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,37
	14:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,70
	15:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,50
	16:00:00	0,02	0,00	0,00	2,20	1,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	5,20
	17:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	1,50
	18:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,95
	19:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	0,00	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	3,95
	20:00:00	0,02	0,87	0,00	0,00	1,50	1,58	0,50	0,00	0,00	0,00	0,98	0,24	0,00	5,69
	21:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,58
	22:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	2,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	4,58
	23:00:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	2,58

По полученным значениям далее будет произведен подбор оборудования и расчет системы электроснабжения автономного потребителя.

Выводы по разделу 3

Были выбраны стандартные электроприборы различного назначения с примерными номинальными мощностями, чтобы смоделировать стандартное энергопотребление жилого дома (квартиры).

Изучив потребности в электроэнергии были вычислены максимальные и средние потребляемые мощности. По полученным значениям построен результирующий график электропотребления жилого дома.

Эти значения необходимы для выбора подходящего ветрогенератора и устройств, которые входят в состав энергетического комплекса.

## 4. ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ

### 4.1 Подбор оборудования для системы энергообеспечения жилого дома с помощью возобновляемых источников энергии

По проведенным ранее расчётам энергопотребления автономного объекта будет проведен подбор компонентов системы автономного электроснабжения.

Система должна включать:

- Источник электроэнергии – ВЭУ с вертикальной осью вращения;
- Контроллер для управления процессом заряда накопителя;
- Накопитель энергии – Супермаховик;
- Инвертор для преобразования электроэнергии (частотный регулятор).

Подбор оборудования для системы энергоснабжения автономного потребителя будет проведен по данным и расчётам, полученным в разделе 3.

#### 4.1.1 Расчет ВЭУ

Для расчёта стоимости всего энергетического комплекса, способного автономно снабжать жилой дом, необходимо точно подобрать мощность, тип и количество ВЭУ.

Чем меньше турбина, тем меньшая скорость требуется для старта ротора ВЭУ. В случае с горизонтально осевыми ВЭУ иногда устанавливают несколько турбин на одну ось вращения ротора, чтобы уменьшить вероятность отказа. Такой способ установки экономит площадь земной поверхности.

Чтобы увеличить время работы ВЭУ стоит использовать преимущества ландшафта (аэродинамические коридоры лесов и горных хребтов, городские постройки с направленными воздушными потоками), как возможно выше располагать установку, например, на крыше здания.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		50

Для предварительной оценки мощности стоит проводить расчет, используя среднюю скорость ветра. Существует множество методик, но они отличаются и конечный результат может отклоняться от реальных испытаний на 10-20%.

Проведем расчет номинальной мощности ВЭУ:

Для этого необходимо определить среднюю скорость ветра  $V_i$  по формуле (4.1) в целевом регионе, используя данные метеорологических служб, средняя скорость ветра в Челябинской области составляет :

$$V_i = i = 4, \text{ м/с} \quad (4.1)$$

Определите среднечасовое энергопотребление объекта  $E_{\text{час}}$  на основе ранее полученных данных из раздела 3, (формула (4.2)). Потребление энергии в час  $E_{\text{час}}$ :

$$E_{\text{час}} = \frac{E_{\text{день}}}{24} = \frac{32810}{24} = 1370, \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (4.2)$$

В то же время минимальная мощность  $P_i$ , которую ветротурбина должна производить «в среднем мгновенно» в 1 час:

$$P_i \geq E_{\text{час}} / 1, \text{ Вт} \quad (4.3)$$

$$P_i \geq 1370$$

При этом мощность ветротурбины  $P_i$  на скорости ветра  $V_i = i$  (без учета эффективности передачи крутящего момента):

$$P_i = C_p \cdot \frac{m \cdot V_i^2}{2} = C_p \cdot \frac{\rho \cdot A \cdot V_i^3}{2}, \text{ Вт} \quad (4.4)$$

где  $C_p \approx 0,4$  – коэффициент мощности ротора (коэффициент использования энергии ветра) для современных турбин;  $\rho \approx 1,225 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха в нормальных условиях (сухой воздух,  $15^{\circ}\text{C}$ , давление  $101,330 \text{ Па}$ );  $m$ , кг – масса воздуха через ротор ветра в 1 секунду;  $A$ ,  $\text{м}^2$  – площадь смещения ротора,  $V_i$ ; м /с – определенная средняя скорость ветра для данного региона.

Ометаемая площадь  $A$  ветроколеса:

$$A = \frac{2 \cdot P_i}{C_p \cdot \rho \cdot V^3} = \frac{2 \cdot 1370}{0,4 \cdot 1,225 \cdot 4^3} = 88, \text{ м}^2 \quad (4.5)$$

Обычно номинальная мощность  $P_{11}$  ветротурбины определяется на 11 м/с.

$$P_i = 0.4 \cdot \frac{1.225 \cdot 88 \cdot 4^3}{2} = 1379.84, \text{ Вт}$$

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		51

Из этой номинальной мощности ветротурбины:

$$P_{11} = \frac{P_i \cdot 11^3}{i^3} = \frac{1379.84 \cdot 11^3}{4^3} = 28696.36, \text{ Вт} \quad (4.6)$$

Габаритные размеры для конструкции ротора вертикально-осевой ВЭУ определяются на основе оптимизации длины лопасти, хорды, резонансов и многих других параметров. Для высокоскоростных вертикально-осевой ВЭУ соотношение диаметра вертикально-осевой ВЭУ  $D$  и  $H$  (высоты) ротора может варьироваться от  $D_{\text{ВВЭУ}} < 1/2 \cdot H$  до  $D_{\text{ВВЭУ}} > 2 \cdot H$ . Чтобы выбрать соотношение, необходимо учитывать параметры прочности, делая соответствующие расчеты прочности и вибрации:

$$D_{\text{VAWT}} = H = \sqrt{A} = 9.38 \quad (4.7)$$

Номинальная мощность серийного ветродвигателя должна превышать мощность, требуемую по ранее выполненным расчетам:

$$P_{\text{ВЭУ}} > P_{11} \quad (4.8)$$

$$P_{11} = 28491,7 \text{ Вт}$$

Согласно полученным данным для полного автономного снабжения можно генерировать электроэнергию с помощью трех ВЭУ «Sokol Air Vertical - 10 кВт» производства EDS-Group, «предназначенные для регионов с пониженной среднегодовой скоростью ветра. Стартовая скорость ветра варьируется от 2 до 2,5 м/с. Номинальную мощность ВЭС выдает при скорости ветра около 8,5 м/с, что обуславливает их применение для слабых и средних ветров. Температура эксплуатации находится в диапазоне от -50 до +50 градусов. Лопасти изготавливаются из армированного полиэфира, в некоторых моделях из авиационного алюминия.

В базовый комплект поставки «Sokol Air Vertical - 10 kW» входят: мачта, генератор, ротор, лопасти, закладные элементы, контроллер»[30].

Характеристики данной вертикально-осевой ВЭУ представлены в таблице 4.1, конструкция показана на рисунке 4.1.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		52

Таблица 4.1 – Основные характеристики ВЭУ

Модель	S.A.V - 10kW
Диаметр ветротурбины	5
Высота лопасти	4
Количество лопастей	5
Номинальное число оборотов ротора(об/мин)	60-90
Номинальная мощность Вт	10000
Максимальная мощность Вт	11000
Стартовая скорость ветра	2,5м/с
Номинальная скорость ветра	8,5м/с
Рабочая скорость ветра	3-20м/с
Высота мачты (м)	12
Масса ВЭС (без мачты)	560
Коэффициент использования энергии ветра	>0,42
Тип генератора	3х фазный, на постоянных магнитах
Частота генератора (Гц)	0-50
Ток с генератора	переменный
Номинальное выходное напряжение (В)	240
Номинальный ток (А)	42
Максимальный ток (А)	50
Характеристики инвертора	В зависимости от характеристик системы
Рекомендуемая емкость АКБ, А*ч	200
Эффективность системы преобразования	> 0,85
Уровень шума, Дб	< 45
Стоимость, руб	569 000

Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Лист

53



Рисунок 4.1 – Ветрогенератор SAV - 10 кВт

#### 4.1.2 Контроллер

Так как контроллер входит в состав ВЭУ, нет необходимости подбора оборудования. Главное условие – ток, поступающий от ВЭУ не должен превышать допустимое значение, на которое рассчитан контроллер.

#### 4.1.3 Инвертор

Инвертор в системе электроснабжения необходим для преобразования переменного или постоянного напряжения, в значения, подходящие для потребителей.

Возможно использование инверторов в совокупности с одним или несколькими аккумуляторными батареями. В данном случае инвертор работает как автономный ИБП для различных систем чувствительным к перебоям с

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		54

электроснабжением. При наличии качественной подачи электроэнергии (220 В), он пропускает его "через" себя и, в случае необходимости, заряжает аккумуляторные батареи.

В случае полного прекращения подачи электроэнергии, инвертор немедленно начинает генерацию переменного напряжения (220 В) от аккумуляторных батарей. Продолжительность автономной работы напрямую зависит от нагрузки и емкости АКБ. При восстановлении электроснабжения преобразователь автоматически переключается в ждущий режим и производит зарядку аккумуляторов.

Схема подключения источника питания к системе накопления энергии супермаховиком с использованием инвертора показана на рисунке 4.2.

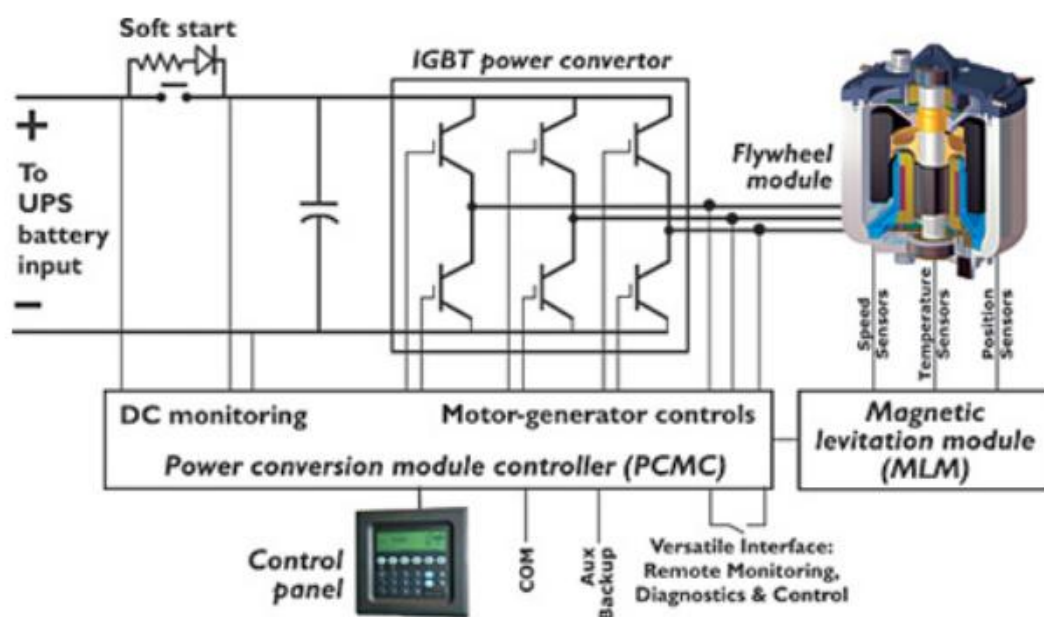


Рисунок 4.2 – Система накопления, разработанная компанией POWERTHRU [31]

Для выбора инвертора необходимо знать максимальную потребляемую мощность, исходя из таблицы 3.2,  $P_{max} = 23,39$  кВт (сумма всех включенных приборов в доме).

$$P_{max \text{ инвертора}} > P_{max} = 23,39 \text{ кВт} \quad (4.9)$$

Инвертор МАП SIN HYBRID 48-9 x 3 фазы 27 кВт производства Микро-Арт изображен на рисунке 4.3. «МАП HYBRID умеет синхронизироваться и под-



качивать в сеть дома, энергию от системы накопления и от солнечных модулей /ВЭУ или от дизель/бензо/газогенератора/микро гидростанции. Наиболее частое использование - упрочнение сети при недостатке выделенной мощности в пиковые часы, подкачка в сеть энергии от солнечных панелей/ветряков»[32].

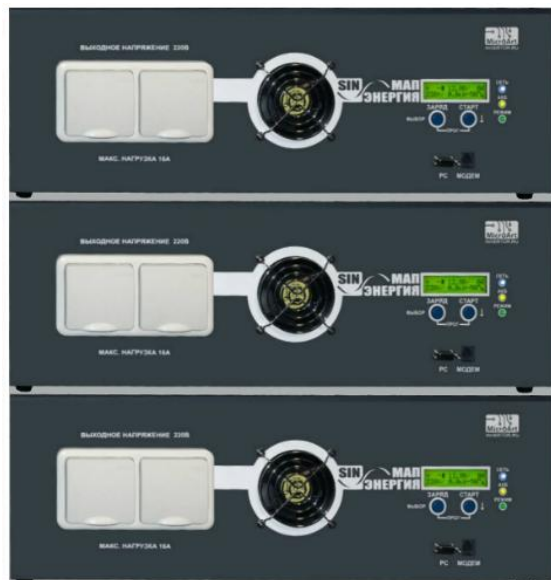


Рисунок 4.3 – Инвертор МАП SIN HYBRID 48-9 x 3 фазы 27 кВт МикроАрт

Основные характеристики инвертора представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные характеристики инвертора[32]

Мощность, кВт	27.00
U, В	48.0
U <sub>вых</sub> , В	220.00 - 380.00
~Частота, Гц	50
Пиковая мощность, кВт*	39.00
Максимальная мощность, кВт**	27.00
Номинальная мощность, кВт	18.00
Встроенный микрокомпьютер	нет
Встроенная сетевая плата	нет
Реле управления генератором или др.	нет
Вход USB	нет
Рабочий температурный диапазон, °С	-25...50
Масса без упаковки, кг	121.50
Цена, руб	332 700

## 4.2 Расчет маховичного аккумулятора энергии

Пример конструкции кинетического накопителя на основе супермаховика представлен на рисунке 4.4.

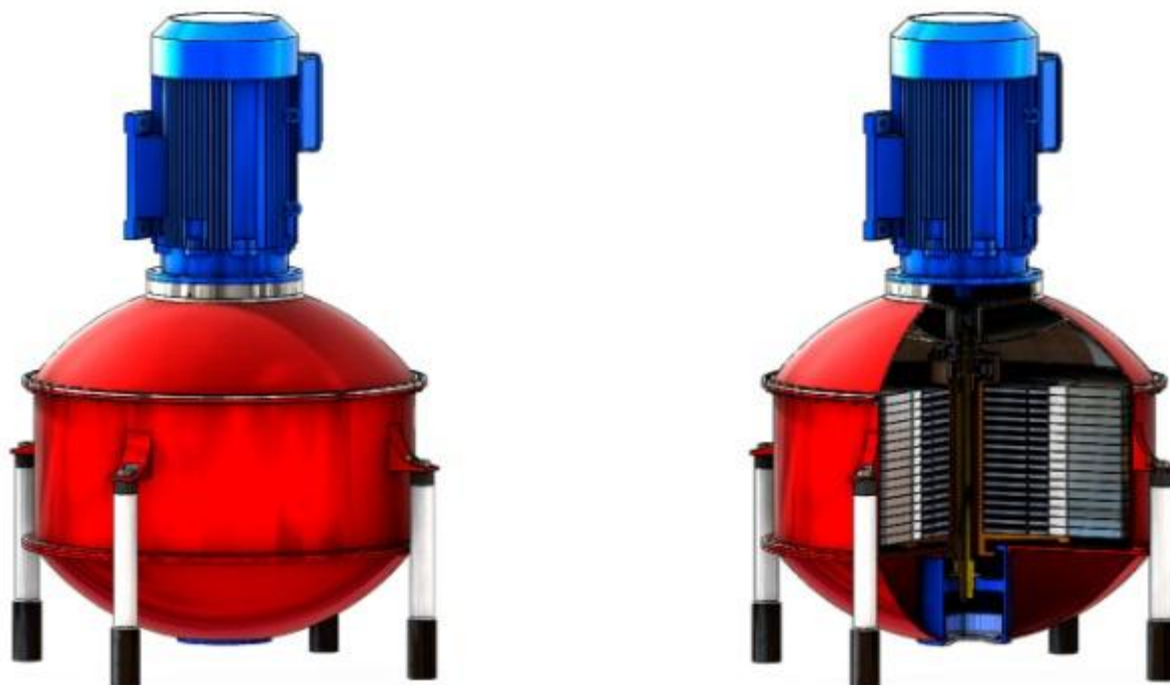


Рисунок 4.4 – Кинетический накопитель, разработанный Kinetic Power[33]

Далее необходимо рассчитать параметры супермаховика.

Эффективность накопления энергии после зарядки рассчитывается, как отношение входной и доступной выходной энергии[34].

$$\eta_{ac-ac} = \frac{E_{\text{ВЫХ}}}{E_{\text{ВХ}}}, \quad (4.10)$$

Полезная кинетическая энергия, запасенная в супермаховике, представляет собой интервал скорости, в течении которого он может работать:

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \Delta\omega^2 = \frac{\omega_{\text{max}}^2 - \omega_{\text{min}}^2}{2} \int r^2 dm, \quad (4.11)$$

где  $J$  – момент инерции относительно оси вращения;  $\omega$  – скорость вращения;  $dm$  – элемент малой массы на расстоянии  $r$  от оси вращения.

Из формулы (4.11) следует, что запасаемая в маховике кинетическая энергия имеет линейную зависимость от момента инерции вращающейся массы и квадрата

тичную зависимость от скорости вращения. Соответственно при росте скорости вращения, даже если масса и момент инерции маховика будут пропорционально уменьшаться, количество запасаемой энергии будет расти [35, 15, 36].

Так как сам маховик имеет цилиндрическую форму, то выражение (4.11) в обобщенной форме будет выглядеть так:

$$E = \rho \cdot \omega^2 \cdot (\pi \cdot r^2 \cdot h) \cdot \frac{1}{4}, \quad (4.12)$$

где  $\omega$  – средняя угловая скорость, рад/с;  $r$  – радиус маховика, м;  $h$  – высота маховика, м;  $\rho$  – плотность маховика, кг/м<sup>3</sup>.

Композитные материалы имеют лучшие прочностные показатели и скорость вращения без разрушения, чем у большинства металлов высокой обработки. Например, супермаховик будет изготовлен из стекловолокна с плотностью  $\rho = 2000$  кг/м<sup>3</sup> и пределом прочности  $\sigma_M = 2250$  Н/мм<sup>2</sup>.

На данном этапе известны требуемая запасаемая энергия и плотность стекловолокна.

$$E = 2000 \cdot \omega^2 \cdot (3.14 \cdot r^2 \cdot h) \cdot \frac{1}{4} = 114550340 \text{ Дж}$$

Максимальная энергия, запасенная супермаховиком, определяется по формуле (4.13):

$$W = \frac{E}{3600} = \frac{114550340}{3600} = 31819,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (4.13)$$

Теперь необходимо методом подбора выбрать параметры маховика так, чтобы они были примерно равны реальным размерам и скорость вращения установки и запасали необходимое количество энергии. Наиболее подходящие параметры для значения ночного потребления энергии, полученного ранее в расчете представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Параметры маховика, определенные методом подбора

Параметр	Значение
Радиус маховика, М	1
Высота маховика, М	2
Угловая скорость вращения маховика, рад/с	191

При заданных параметрах запасаемая энергия будет равна 31,8 кВт·ч, что больше значения средней потребляемой энергии за сутки. Однако, стоит учитывать, что супермаховик, используемый в малых масштабах потребления будет сохранять запасенную энергию на более короткий период.

Предел энергии вращения, который может храниться в материале, часто рассчитывается с помощью следующего приближения:

$$e = \frac{E}{m} = \frac{\sigma_{\theta}}{2\rho} \quad (4.14)$$

где  $e$  – энергия  $E$  на единицу массы  $m$ ;  $\sigma_{\theta}$  – тангенциальное напряжение;  $\rho$  – плотность материала.

$$\sigma_{\theta} = \rho \cdot V^2 = 2000 \cdot 600^2 = 0,72 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2, \quad (4.15)$$

$$e = \frac{E}{m} = \frac{\sigma_{\theta}}{2\rho} = \frac{0,72 \cdot 10^9}{4000000} = 180 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$$

Примерную стоимость, формула (4.16), можно выявить по себестоимости 1 Вт равного 80 рублям, выработанного накопителем кинетической энергии мощностью 50 кВт, спроектированного ООО «Русский сверхпроводник» (см. рисунок 4.5).

$$S = \frac{S_{\text{НКЭ 50кВт}}}{P_{\text{НКЭ 50кВт}}} \cdot P_{\text{НКЭ 31кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{4\,000\,000}{50000} \cdot 1325,8 = 106\,0664 \text{ руб} \quad (4.16)$$



Рисунок 4.5 – ИБП на основе накопителя кинетической энергии, НКЭ-3Г[37]

«Динамический ИБП на основе НКЭ (ДИБП-НКЭ) является стандартным по функционалу источником бесперебойного питания, в котором в качестве автономного источника энергии использован высокоэнергоемкий маховик. В момент просадок или провалов напряжения в сети механическая энергия мгновенно преобразуется в электрическую энергию и подхватывает энергоснабжение оборудования потребителя сразу с необходимой мощностью.

Агрегат требует минимальные эксплуатационные затраты, необслуживаемый, полностью автоматизирован, имеет канал удаленного управления оператором. Основной конструкции НКЭ является маховик накопителя, который получает вращение от внешнего источника энергии – электромшины и выделяет накопленную при вращении энергию на раскрутку ротора электромшины для выработки им электроэнергии уже в режиме генератора.

ИБП имеет автоматизированную систему управления. Накопитель энергии оснащен системой контроля основных параметров. Установки полностью состоят из деталей, узлов и подсистем отечественного производства. Конструкция характеризуется высокой надежностью, проста в эксплуатации, имеет энергоэффективный привод, систему автоматического контроля и управления. Плановое обслуживание

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		60

живание и капитальный ремонт осуществляются на площадке установки агрегата. ДИБП может поставляться как в контейнерном исполнении, так и размещаться в капитальных помещениях Заказчика.

ДИБП также несёт дополнительные функции при работе в сети потребителя: возможна реализация полной гальванической развязки от сети, обеспечивает качество энергоснабжения по ГОСТ 13109-97, фильтрует искажения гармоник и скачки напряжения, устраняет микро-перебои тока длительностью менее 50 мс, способен выдерживать повторяющиеся пропадания сети.

Уникальные преимущества ДИБП: Низкие операционные затраты при эксплуатации.

Отсутствие аккумуляторных батарей (прямая экономия, уменьшение площади под энергоцентр и значительное снижение затрат на обслуживание). Не требует установки кондиционеров для охлаждения (экономия на стоимости кондиционеров и стоимости электроэнергии для их питания). Уникальная конструкция ДИБП НКЭ-3Г в отличие от аналогичных зарубежных предложений позволяет без запуска дизель-генератора компенсировать до 99% случаев кратковременных перебоев в электроснабжении, тем самым увеличивая ресурс ДГУ и экономия топлива»[37]. Технические характеристики ИНЭ указаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики устройства

Параметр	Значение
Мощность, кВт	22 – 350 кВт
Род тока	~ 3ф и постоянный
Входное напряжение, В	~380 В; – 550 В
Время поддержки провалов напряжения	до 7 секунд для маломощных систем до одной минуты
Срок службы	20 лет

#### Выводы по разделу 4

По расчетам потребления, полученным в разделе 3, было подобрано оборудование для автономного электроснабжения жилого строения. Также приведены характеристики и расчет параметров выбранных устройств.

Таким образом, набор оборудования необходимый для обеспечения потребителей электрической энергией:

- Вертикально-осевых ВЭУ «Sokol Air Vertical - 10 кВт» (10 кВт каждая) с контроллером заряда в комплекте;
- Супермаховик из стекловолокна мощностью 31 кВт;
- Инвертор МАП SIN HYBRID 48-9 х 3 фазы 27 кВт.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		62

## 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

### 5.1 Экономическая оценка эффективности

Экономический потенциал (Wind potency economic) – часть технического потенциала, использование которого экономически эффективно в современных условиях с учетом требований социально-экономического характера.

Чтобы выявить экономичность энергетического комплекса, необходимо узнать стоимость, затрачиваемую на обслуживание данного дома электроэнергией.

Стоимость за 1 кВт\*ч в Челябинске варьируется от 1,34 до 4,14 руб., так по одноставочному тарифу 1 кВт\*ч = 2,27 руб. за электроэнергию, при условии, что данный проект относится к домам, оборудованными газовыми плитами, в Челябинске и в городских населенных пунктах области [38].

Зная стоимость и потребление электроэнергии, подсчитаем затраты на электричество в год по формуле (5.1).

$$2,27 \frac{\text{руб.}}{\text{кВт}\times\text{ч}} \cdot (32,8 \cdot 365) \frac{\text{кВт}\times\text{ч}}{\text{год}} = 27176,44 \frac{\text{руб.}}{\text{год}} \quad (5.1)$$

Стоимость и окупаемость приборов энергетического комплекса:

В таблице 5.1 сведены стоимости необходимого оборудования для энергетического комплекса.

Таблица 5.1 – Расчет стоимости требуемого оборудования

Наименование	Количество, шт.	Стоимость единицы, руб.	Сумма, руб.
ВЭУ	3	569 000	1 707 000
Контроллер	0	0	
Аккумулятор	1	106 064	
Инвертор	1	332 700	
ИТОГО		2 145 764	

Рассчитав плату за электроэнергию, которая составит в год 27176,44 рублей, можно рассчитать срок окупаемости энергетического комплекса по формуле (5.2).



$$\frac{C_{уст}}{C_{эл}} = \frac{2145764 \text{ руб}}{27176,44 \frac{\text{руб}}{\text{год}}} = 78,96 \text{ лет} \approx 79 \text{ лет} \quad (5.2)$$

Из выше сказанного делаем вывод: установка окупится через 79 лет.

## 5.2 Экологическая оценка эффективности

Основная опасность, которую может причинить маховик, это высвобождение большой энергии вследствие разрыва корпуса под действием большой скорости вращения либо разрыва стальной ленты. Однако, если разрыв обычного маховика разрушителен, то в случае супермаховика лента прижимается к корпусу и автоматически затормаживает накопитель — все совершенно безопасно (см. Рисунок 5.1).

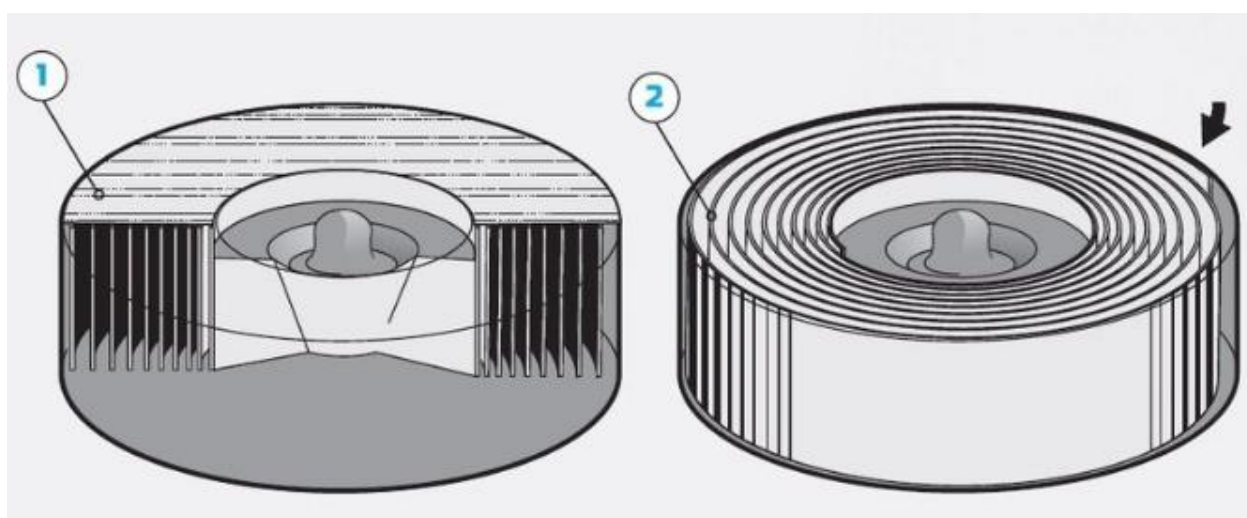


Рисунок 5.1 – Ленточный супермаховик:

1 – Супермаховик, у которого внешняя часть свита из прочной стальной ленты (Витки ленты обычно склеены между собой); 2 – Супермаховик после разрыва.

Одним из преимуществ является безвредность материалов кинетического накопителя, практически все могут быть переработаны.

## Выводы по разделу 5

Рассчитанная в проекте энергоустановка при взятых в Челябинской области тарифах на электроэнергию окупится через 79 лет. Не известно точно насколько готовые энергетические комплексы на базе инерционного накопителя энергии дороже, так как в дополнении к ИНЭ иногда устанавливают резервный дизель-генератор. ИНЭ на базе супермаховика – дорогостоящее устройство, это увеличивает капиталовложения.

Также, на конечный срок окупаемости повлияют сроки службы электроприборов, однако в отличие от химических аккумуляторов супермаховичный накопитель энергии может находиться в рабочем состоянии до 30 лет при соблюдении условий эксплуатации и качественной балансировке подшипников. Установка такого комплекса целесообразна для людей, которые смогут правильно обслуживать все приборы комплекса, что способствует долговечности устройств, в обратном же случае придется оплачивать обслуживание и проверки состояния всех приборов. ИНЭ практически не нуждается в обслуживании, а современные установки полностью автоматизированы.

Сроки окупаемости рассчитаны по приведенному тарифу, но тариф на электроэнергию не будет оставаться неизменным на протяжении стольких лет. С изменением цены за электроэнергию постепенно изменяются сроки окупаемости, но незначительно. Из всего вышесказанного следует, что сроки окупаемости, рассчитанные в данной работе, будут действительными только для заданных условий при данных ценах за электроэнергию.

Таким образом ИНЭ является альтернативой химическим аккумуляторам, которые токсичны, взрывоопасны и имеют жесткие условия эксплуатации. Также капитальные затраты на один супермаховик меньше, чем на химические аккумуляторы за срок эксплуатации ИНЭ (примерно 20 лет).

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		65

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии имеют практически самый большой энергетический потенциал, однако их потоки непостоянны, переменны в интенсивности и неравномерно распределены по планете. В отличие от ископаемых источников, которые надо добыть, преобразовать и транспортировать перед получением энергии, ВИЭ нужно только сконцентрировать и преобразовать в электрическую, механическую или тепловую энергию, а иногда в несколько видов энергии одновременно.

Так поток ветра, набегаящий на ометаемую площадь ветроколеса начинает вращение ротора генератора, который в свою очередь подает сгенерируемую электроэнергию в сеть потребителю. ВЭУ могут быть намного эффективнее многих электростанций на ископаемом топливе, и также имеют свои сложности конструкции и эксплуатации.

Чтобы выработка энергии была максимально эффективной необходима точная ориентация на поток ветра, в этом выигрывает вертикально-осевая ВЭУ. Но, как и ВЭУ с горизонтальной осью вращения ротора ветроколеса имеет переменный характер выработанной электроэнергии. Эта проблема решается аккумулярованием электроэнергии.

Накопитель энергии в системе электроснабжения выступает регулятором и залогом бесперебойного поступления электроэнергии, выравнивая график нагрузки потребителей.

В работе был проведен анализ химических аккумуляторов и выявлено, что этот вид накопителей требует жестких условий эксплуатации и утилизации, а также нередко занимает значительную площадь объекта электропотребления.

Как альтернативный вариант был предложен ИНЭ на базе супермаховика, который имеет большой КПД и значение запасаемой энергии на единицу объема.

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		66

Супермаховичный накопитель стоит рассматривать, как ИБП, так как установка способна быстро перезаряжаться и мгновенно реагировать на скачки напряжения, что необходимо при многократных отключениях электроэнергии.

В работе проведен расчет энергосистемы, включающей в себя вертикально-осевую ВЭУ, супермаховичный накопитель, контроллер заряда и инвертор, потребителем является автономный жилой дом. Устройства подобраны по условию полного штиля (прекращения выработки электроэнергии с помощью ВЭУ).

Посчитав полностью автономную систему электроснабжения, получился достаточно большой срок окупаемости всего энергокомплекса. Однако супермаховичный накопитель может эксплуатироваться до 30 лет и при этом практически не нуждается в техническом обслуживании. В то время как для гелевых АКБ аккумуляторов количество циклов заряда варьируется в пределах 350 раз.

Супермаховичные накопители помимо функций ИБП могут запасать энергию рекуперации (например, от насосов, подъемных механизмов и прочего).

Как и любой вид аккумуляторов супермаховики имеют недостатки:

- При аварии вся накопленная энергия выделится в окружающую среду в лучшем случае в виде тепла, причем причин для аварии больше чем достаточно;
- Обычно для использования в таких маховиках рекомендуют использовать магнитные подшипники, которые поддерживают на весу вращающийся маховик. При использовании постоянных магнитов трудно обеспечить равномерное магнитное поле по всему диаметру вращения, что приводит к биениям;
- Если использовать электромагниты, даже чтобы удерживать вес маховика в повешенном состоянии, нужен постоянно большой расход энергии;
- Необходима система управления электрической энергией для удержания маховика;

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		67

- Супермаховики, намотанные из синтетических материалов не обладают магнитными свойствами, чтобы ими можно было управлять с помощью электромагнитных полей;
- Волокна или ленты для супермаховиков для обеспечения жесткости необходимо наматывать на жесткий каркас, например, из цельного металла.

Стоит учитывать, что общее количество энергии, запасенной в супермаховиках невелико по сравнению с количеством энергии, вырабатываемой электростанциями, поэтому система способна сглаживать кратковременные пики потребления и работать в режиме ИБП на небольшой период времени.

Из всего сказанного выше следует, что применение супермаховика совместно с генераторами энергии от ВИЭ актуально при необходимости бесперебойного питания и соблюдение экологически безопасной эксплуатации и утилизации всего оборудования. При этом выдавать в сеть потребителя переменное или постоянное напряжение.

При развитии технологий полимеров, стоимость супермаховиков будет уменьшаться, что способствует их распространению, а также полному замещению химических АКБ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломин, Е.В. Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения / И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // сб. науч. работ. – Вестник ЮУрГУ, №26, Серия «Энергетика». - 2008г - С. 32-35.
2. Кирпичникова И.М. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие к практическим занятиям/И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 50 с.
3. Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ч. 1.Определение ветроэнергетических ресурсов региона. Методические указания. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003 г.
4. Кирпичникова, И.М. Ветроэнергетические установки. Расчет параметров компонентов: учебное пособие/ И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 71 с.
5. ЭКОблог Альтернативная энергия Альтернативная жизнь [http://www.ekopower.ru/]
6. Цифровая подстанция [http://digitalsubstation.com/blog/2019/02/02/vienastupayut-planu-na-nbsp-2019-i-nbsp-ne-nbsp-tolko/]
7. EENERGY MEDIA[https://eenergy.media/2018/08/13/vetrovaya-energetika-trendy-i-prognozy/]
8. Российская ассоциация ветроиндустрии [https://rawi.ru/wp-content/uploads/2019/04/vetroenergeticheskiy-ryinok-rossii-2018-19\_bravi.pdf]
9. Ветроэнергетика 2019 [https://www.windrussiaconference.com/tsifry-i-fakty/]
- 10.Ольшанская, Л.Н. Экологические аспекты утилизации литиевых химических источников тока/ Л.Н. Ольшанская, Е.Н. Лазарева, А.П. Клепиков//сб. науч. Ра-бот. - Вестник Саратовского государственного технического университета – 2005г.
11. Данг Вьет Фук Повышение качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения метрополитена за счёт внедрения 12-пульсовых

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		69

выпрямителей/ Данг Вьет Фук, Науч. рук. Док-р тех. наук, доц. Шевлюгин М.В. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2019 г.

12. Стабилизация работы ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения с помощью инерционного аккумулятора /М.А. Шкред, И.А. Пономарев, Г.Н. Рявкин, Е.В. Соломин, А.С. Мартьянов// Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – Т. 7 – 2019 – № 1 – С. 227 – 230.
13. Каранкевич В.В. Супермаховики как перспективный способ аккумуляции энергии/ Каранкевич В.В., Таранчук А.С., науч. руководитель – к.т.н, доц. Качан С.А. – Актуальные проблемы энергетики. СНТК 72. – 480-482с.
14. Мастер Своего Дела. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИНЕРЦИОННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ [https://msd.com.ua/nakopiteli-energii/obshhie-principy-technicheskogo-primeneniya-dinamicheskix-inercionnyx-nakopitelej-energii/]
15. Гулиа, Н.В. Механическая гибридная силовая установка/ Гулиа Н.В., Давыдов В.В., Бабин В.А., Лаврентьев А.И.// Автомобильная промышленность. - 2010. - №8. - С. 10-11.
16. Накопители энергии: Учеб. пособие для ву-Н22 зов /Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин. П. В. Васюкевич; Под ред. Д. А. Бута. — М.: Энергоатом-издат, 1991.- 400 с.
17. Мастер Своего Дела. УСТРОЙСТВА И УСТАНОВКИ НА БАЗЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ИНЕРЦИОННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ [https://msd.com.ua/nakopiteli-energii/ustrojstva-i-ustanovki-na-baze-mexanicheskix-inercionnyx-nakopitelej-energii/]
18. Гулиа Н. В. Инерции, — М.: Наука, 1982,—152 о., ил.— (Серия «Наука и технический прогресс»)

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		70

19. Membrana. Вращающаяся армия бережёт 60 герц стабильного электричества [http://www.membrana.ru/particle/3111]
20. АльтИнфоЮг: Альтернативная энергетика и информация. Стационарные супермаховики в энергосистемах [http://altinfoyg.ru/energetika/sae/statsionarnye-supermakhoviki-v-energositemakh.html]
21. Нуждин В.Н Наиболее эффективные способы аккумулирования энергии и перспективы использования технологии аккумулирования энергии в атомной отрасли// Нуждин В.Н., Просвирнов А.А., - ВНИИАЭС, Фгуп «цнииа-томинформ» центр «атом-инновация» материалы инновационного форума росатома. – 18.10.2012. – 6с.
22. Бугров, Ю.А. Уфимцев Анатолий Георгиевич / Бугров Ю.А. // Курск Краеведческий словарь-справочник — Курск: ЮМЭКС, 1997 - 409с.
23. Dr. M.Ragheb Kinetic energy flywheel energy storage. - 9/16/2013.- (http://mragheb.com/NPRE%20498ES%20Energy%20Storage%20Systems/Kinetic%20Energy%20Flywheel%20Energy%20Storage.pdf)
24. Foley, I. Williams Hybrid Power – Flywheel Energy Storage, Presentation, 2013. Available online: https://www.ukintpress-conferences.com/uploads/SPKPMW13R/d1\_s1\_p2\_ian\_foley.pdf (accessed on 25 June 2015)
25. Talreja, R. Fatigue of composite materials: Damage mechanisms and fatigue-life diagrams.Proc. R. Soc. London Ser. A 1981,378, 461–475.
26. McMullen, P.; Hawkins, L. Long term backup bearing testing results. In Proceedings of the 13th International Symposium on Magnetic Bearings, Arlington, VA, USA, 6–8 August 2012.
27. Li, P., Sahinkaya, M.N., Keogh, P.S.: Active touchdown bearing control for recovery of contact-free rotor levitation in AMB systems. In: Proceedings of the 14th International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB 2014), Linz, Austria.-2014



28. Magnus Hedlund, Flywheel Energy Storage for Automotive Applications/ Magnus Hedlund, Johan Lundin, Juan de Santiago, Johan Abrahamsson and Hans Bernhoff. Review: Academic Editor: Joeri Van Mierlo// Open Access Journal. – Energies. - 2015. - 8. - P.10636-10663., Al-Saleh, M.H.; Sundararaj, U. Review of the mechanical properties of carbon nanofiber/polymercomposites. Composites Part A 2011, 42, 2126–2142.
29. Полная энциклопедия [<http://www.polnaja-jenciklopedija.ru/>]
30. EDS-Group [<http://energy-ds.ru/catalog/generating/vetrogenerator/vetrogenerator-sokol-air-vertical/vetrogenerator-sav-10-kvt.html>]
31. Kinetic energy storage based on flywheels: basic concepts, state of the art and analysis of applications/ Technical report. - EERA JP ENERGY STORAGE Mechanical Storage Sub-program. – March 2013. – 67p.
32. Exmork [<https://invertory.ru/product/invertor-map-sin-hybrid-48-9-h-3-fazy-27-kvt-mikroart-/>]
33. Школа для электрика [<http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1887-kineticheskie-nakopiteli-jenergii-dlja.html>]
34. Сергеев А.Г. Влияние литиевых источников тока на окружающую среду в сравнении с другими распространенными источниками тока//Тез. Докл. II совещ. По литиевым источникам тока. – 1992. -Саратов.- С.143.
35. Бугров, Ю.А. Уфимцев Анатолий Георгиевич / Бугров Ю.А. // Курск Краеведческий словарь-справочник — Курск: ЮМЭКС, 1997 - 409с.
36. Saket, F.Y., Sahinkaya, M.N., Keogh, P.S.: Experimental assessment of touch-down bearing contact forces in magnetic bearing systems. In: 9th IFToMM International Conference on Rotor Dynamics, Milan, Italy.-2014.
37. EQUIPNET.RU [[https://www.equipnet.ru/equip/equip\\_60596.html](https://www.equipnet.ru/equip/equip_60596.html)]
38. Тарифы на ЖКХ в России [<https://tarifvniz.ru/tarif-mrsk-urala-na-ehlektrohnergiyu/>]

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подп.	Дата		72

Таблица 3.2 – Время работы приборов в часах днем и ночью

время работы приборов, ч																
№	прибор	мощность, кВт	понедельник		вторник		среда		четверг		пятница		суббота		воскресенье	
			день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь
1	холодильник	0,40	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	ПК	0,87	0	3	0	4	0	5	0	4	0	3	2	2	5	2
3	электроплита	10,00	0,5	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	2	3	0
4	чайник	2,20	0,002	0,2	0,002	0,2	0,002	0,2	0,002	0,2	0,002	0,2	0,25	0,2	0,25	0,2
5	кофе машина/фен	1,50	0,6	0	0,6	0,6	0	0,6	0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,6	0,6
6	освещение	1,58	0,8	2	0	2	0,8	2	0	3	0	2	0	3	0	5
7	аудиосистема	0,50	0,5	4	0	5	0	4	0	4	0,25	5	4	5	5	3
8	водонагреватель	2,00	0,25	0,75	0,5	0,5	0,25	0,75	0,25	1	0,25	0,75	0,5	1	0,5	2
9	микроволновая печь	0,80	0,083	0,083	0,09	0,083	0,083	0,083	0,083	0,075	0,083	0,06	0,1	0	0,25	0,1
10	телевизор	0,32	0	2	0	0,5	0	0,75	0	0,25	0	0,1	1	2	1	2
11	кондиционер (охлаждение)	0,98	0	6	0	7	0	6	0	7	0	6	4	7	3	9
12	утюг	0,24	0,25	0	0,25	0	0	0,5	0	0	0,25	0	0	0	0	0,75
13	стиральная машина	2,00	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3

Изм  
Лист  
№ документа  
Подп.  
Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

Таблица 3.3 – Потребляемая электроэнергия приборов в кВт\*ч

потребляемая мощность, кВт*ч																
№	прибор	Мощность, кВт	понедельник		вторник		среда		четверг		пятница		суббота		воскресенье	
			день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь
1	холодильник	0,40	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
2	ПК	0,87	0	2,61	0	3,48	0	4,35	0	3,48	0	2,61	1,74	1,74	4,35	1,74
3	электроплита	10,00	5	10	0	20	0	0	0	10	0	0	0	20	30	0
4	чайник	2,20	0,004	0,44	0,004	0,44	0,004	0,44	0,0044	0,44	0,0044	0,44	0,55	0,44	0,55	0,44
5	кофе машина/фен	1,50	0,9	0	0,9	0,9	0	0,9	0,9	0	0,9	0	0,9	0	0,9	0,9
6	освещение	1,58	1,264	3,16	0	3,16	1,264	3,16	0	4,74	0	3,16	0	4,74	0	7,9
7	аудиосистема	0,50	0,25	2	0	2,5	0	2	0	2	0,125	2,5	2	2,5	2,5	1,5
8	водонагреватель	2,00	0,5	1,5	1	1	0,5	1,5	0,5	2	0,5	1,5	1	2	1	4
9	микроволновая печь	0,80	0,066	0,066	0,072	0,066	0,066	0,0664	0,0664	0,06	0,0664	0,048	0,08	0	0,2	0,08
10	телевизор	0,32	0	0,64	0	0,16	0	0,24	0	0,08	0	0,032	0,32	0,64	0,32	0,64
11	кондиционер (охлаждение)	0,98	0,960	0	5,88	0	6,86	0	5,88	0	6,86	0	5,88	3,92	6,86	2,94
12	утюг	0,24	0,06	0	0,06	0	0	0,12	0	0	0,06	0	0	0	0	0,18
13	стиральная машина	2,00	0	2	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	6
		<b>23,39</b>	10,21	<b>23,62</b>	9,12	<b>32,91</b>	13,89	<b>13,98</b>	8,55	<b>26,00</b>	9,72	<b>11,49</b>	13,67	<b>37,18</b>	47,88	<b>27,52</b>

Изм  
Лист  
№ документа  
Подп.  
Дата

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

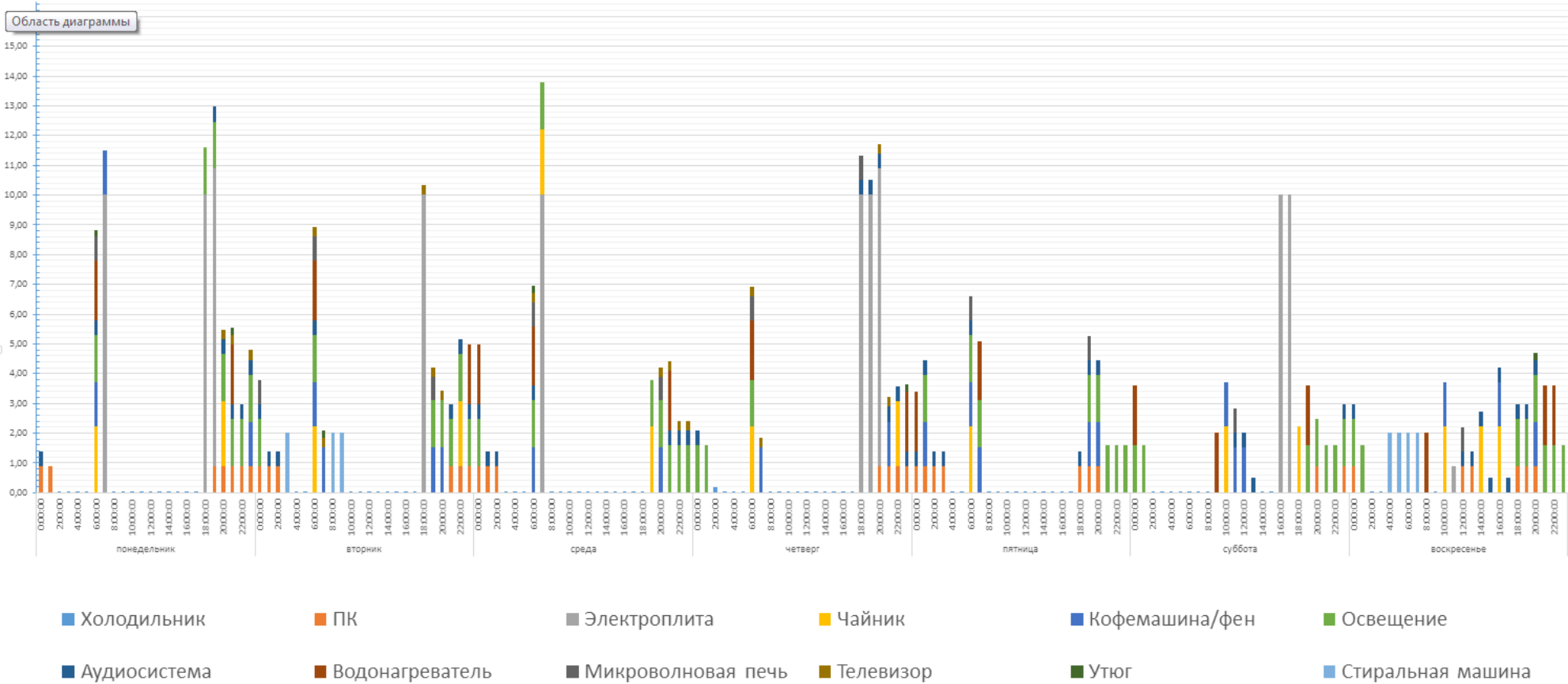


Рисунок 3.1 – Результирующий график электропотребления жилого дома

13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ

					13.03.02.2019.199.00.00 ПЗ					
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Аккумулятор для энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии	Лит.			Лист	Листов
Разраб.		Шкред				В	К	Р	3	72
Пров.		Соломин				ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «ЭССиСЭ»				
Н. контр.										
Утв.		Кирпичниова								